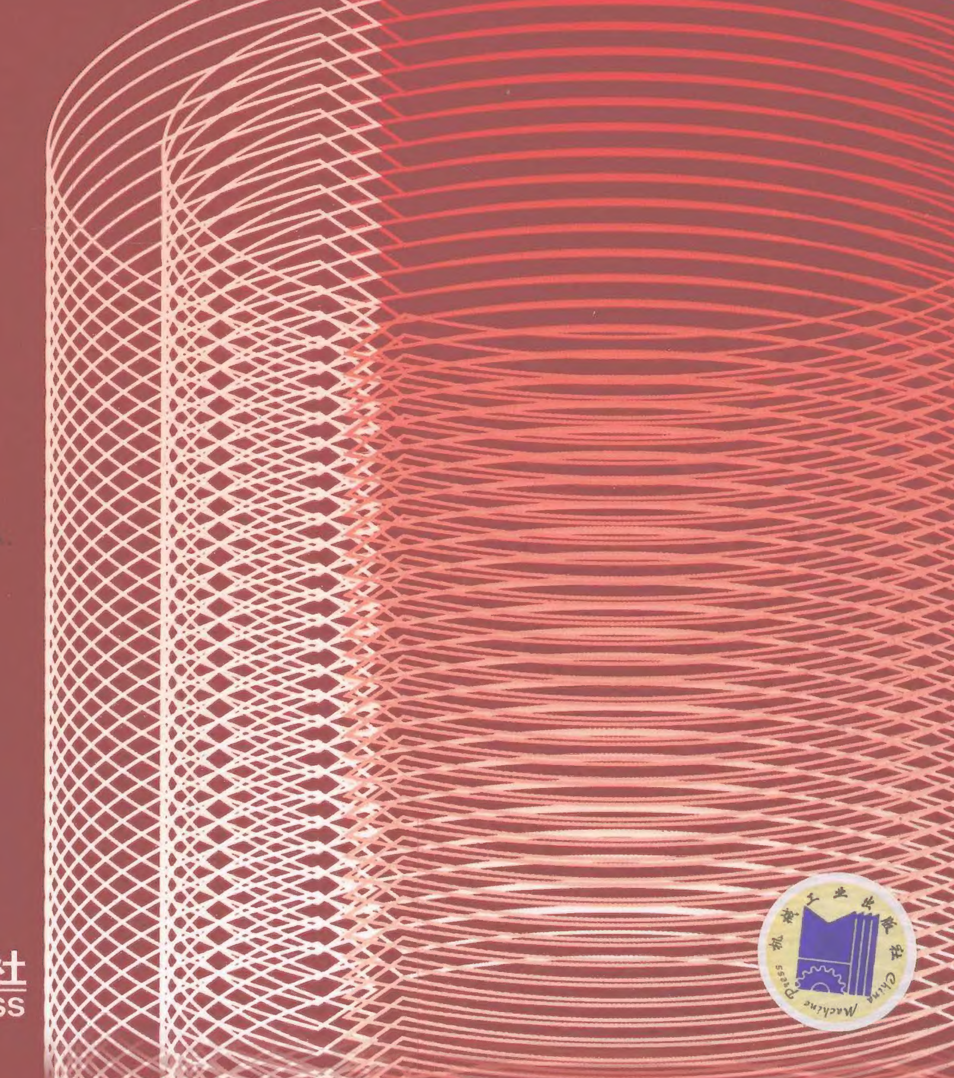
异步电动机绕组的嵌放和修理

王占元　王　宁　杨建军　编著





ISBN 978-7-111-23636-8

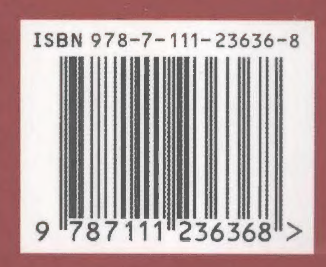
封面设计／电脑制作：姚毅

编辑热线：(010)88379768

地 址：北京市百万庄大街22号 邮政编码：100037
联系电话：(010)68326294 网址：http://www.cmpbook.com（机工门户网）
(010)68993821 E-mail:cmp@cmpbook.com
购书热线：(010)88379639 (010)88379641 (010)88379643

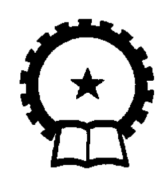
定价：25.00元

上架指导：工业技术／电工技术



异步电动机绕组的嵌放和修理

王占元　王　宁　杨建军　编著



机 械 工 业 出 版 社

本书着重介绍三相和单相异步电动机各种绕组的嵌放原则、规律及接线的方法和特点。同时对绕组的常见故障、检查修理方法以及修理中的主要计算方法进行了阐述。

本书可作为电动机维修人员的工具书和自学用书，也可作为技术培训教材，或供技校及大中专院校相关专业师生作为实践参考书。

图书在版编目（CIP）数据

异步电动机绕组的嵌放和修理/王占元等编著．—北京：机械工业出版社，2008.4
ISBN 978-7-111-23636-8

Ⅰ．异…　Ⅱ．王…　Ⅲ．①异步电动机—绕组—安装②异步电动机—绕组—维修　Ⅳ．TM343

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 029934 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：吉　玲　责任编辑：赵玲丽　版式设计：冉晓华
责任校对：申春香　封面设计：姚　毅　责任印制：洪汉军
北京瑞德印刷有限公司印刷（三河市明辉装订厂装订）
2008 年 5 月第 1 版第 1 次印刷
169mm×239mm・15 印张・288 千字
0001—4000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-23636-8
定价：25.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
销售服务热线电话：（010）68326294
购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643
编辑热线电话：（010）88379768

前　言

随着我国经济建设的飞速发展和人民生活水平的提高，三相异步电动机和单相异步电动机的使用越来越广泛，数量与日俱增。制造、使用和修理电动机的人员越来越多。

在各种异步电动机中，绕组是其主要核心部件，也是最薄弱的部件，制造和使用中稍有疏漏或维护不当，就很容易损坏。因此，绕组是电动机修理中最常见的部件。

异步电动机的绕组种类繁多，布线和接线也较为复杂，所以电动机的各种绕组制造和修理一直是一门较难掌握的技术。

编写此书，目的是为读者尽快掌握这门技术提供一些帮助。

本书对三相和单相异步电动机中各种常见绕组嵌放的原则、规律、特点以及嵌放、接线方法做了较详细的阐述；介绍了异步电动机绕组常见的故障、产生的原因、检查方法和修理方法；还介绍了对异步电动机绕组的改造、重绕计算方法及嵌放工艺要点等。

本书的特点是取材于实践，应用于实践，实用性强；突出各种绕组的嵌放原则、规律及特点，读者容易触类旁通；语言深入浅出，通俗易懂，图文并茂，读者易于掌握。

本书主要作为电动机维修人员的工具书和自学用书，可作为技术培训教材，也可作为技校和大中专院校相关专业师生的实践教学参考书。

在本书的编写过程中，河北机电职业技术学院的很多老师给予了很大的支持和帮助，我们在此表示衷心的感谢。

由于编者的水平所限，书中难免出现缺点或错误，敬请广大读者批评指正。

编　者

目　　录

第一章　电动机绕组的基本知识

第一节　电动机绕组常用的名词术语

电动机绕组，俗称“线包”，它是由绝缘电磁铜（铝）线绕制而成的。它是电动机中电磁能量转换为机械能量的核心部件。

铜（铝）线绕组有三个基本性质：一是绕组通入电流后必然产生磁场；二是绕组导体与磁场发生相对切割运动，绕组中必产生感应电动势；三是绕组中若有电流通过，且处在磁场中，导体必然受到磁场力的作用。根据异步电动机的工作原理，电动机内的各种绕组所起的作用不同，这就决定了它们的结构型式、所处的位置及连接方式各具特点。为了后面便于说明各种绕组的结构和嵌放，这里先介绍几个常用的名词术语。

一、线匝、线圈、绕组

（1）线匝　电磁导线经定子或转子的两个铁心槽绕过一周，称为一个线匝。平时讲的匝间短路或匝间碰线，就是指线匝与线匝之间因绝缘损坏而造成的短路。

（2）线圈　由若干个几何形状相同、截面积相同的线匝串绕在一起，最后留出一根首端和一根尾端（并绕时则不只一根）的组合体，称为线圈，又称绕组元件。图 1-1 为电动机常用线圈示意图。

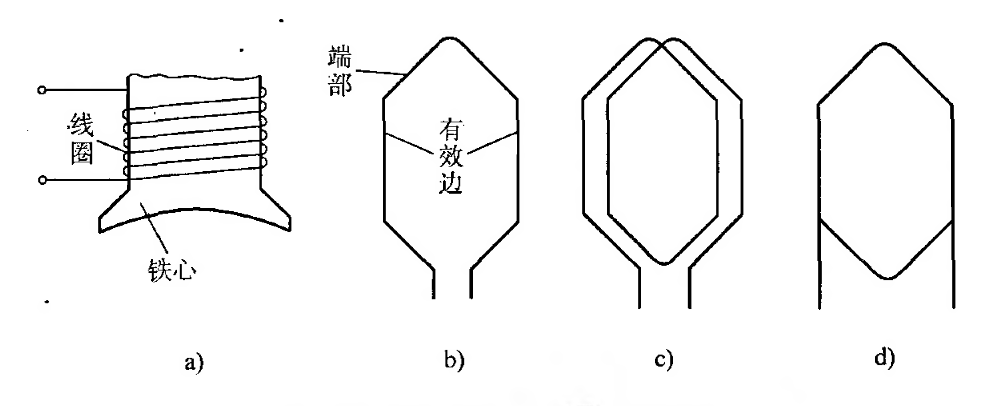


图 1-1　绕组元件（线圈）示意图

a）励磁绕组　b）单匝线圈　c）多匝线圈　d）多匝线圈简图

图 1-1a 所示线圈直接绕制（或套）在磁极铁心上，属于多匝线圈。图 1-1b、图 1-1c 所示是嵌放在铁心槽中的绕组元件，线圈的直线段称为有效边，嵌在铁

心槽内，起电磁能量转换的作用。线圈两端伸出槽外的部分为端部，起连接两个有效边的作用。

（3）绕组　由多个线圈按照一定的规律连接起来的整体称为绕组。一般地，一相绕组是由若干个线圈通过串联或并联方式接在一起的，故绕组是线圈的总称。

二、磁极、极距

交流电动机的定子绕组通电后，在电动机内产生磁场，形成若干磁极，以 N 极和 S 极成对的形式，在电动机气隙表面圆周上均匀分布。如图 1-2 所示，磁极均是以对数出现，所以，通常称电动机内若干对磁极，比如两极电动机的极对数 $p=1$，4 极电动机的极对数 $p=2$ 等等。电动机磁极数的多少，直接影响着电动机的转速和其他重要性能。而电动机产生多少磁极则取决于绕组的安排和结构。

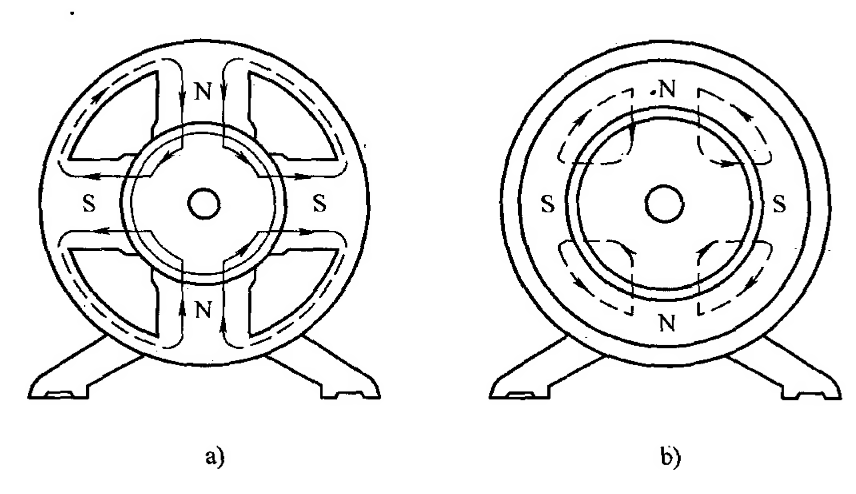


图 1-2　电动机的磁场

a）凸极磁场　b）隐极磁场

沿电动机气隙圆周表面上，每相邻两个异性磁极之间的距离（指两个相邻磁极对应点之间）称为极距，用τ表示。实际上它也等于每个磁极沿气隙圆周表面所占的距离，τ有槽数和长度两种表示方法。

（1）用槽数表示（槽）

$$\tau=\frac{Q}{2p} \tag{1-1}$$

式中，Q 为交流电动机的定子槽数；p 为极对数。

（2）用长度表示（cm）

$$\tau=\frac{D_{i1}}{2p} \tag{1-2}$$

式中，D_{i1}为交流电动机定子内径。

三、机械角度、电角度和槽电角度

1. 机械角度和电角度

按照机械学的方法，将一圆周划分为360等份，其中1等份为1°，共360°。或者将一圆周划分为2π个弧度，这样划分的角度为机械角度或者几何角度，用α_m表示。

在交流电动机中，为了表达方便，往往把一对相邻的磁极在气隙圆周上所占的区间定位360°。这样划分的角度为空间电角度，用α_e表示。电角度和机械角度的关系用下式计算：

$$\alpha_e = p\alpha_m \tag{1-3}$$

各种极数的电动机，其铁心一圆周上的机械角度和电角度比较见表1-1。

表1-1　各种极数电动机的机械角度和电角度比较

极数	2	4	6	8	10	12
极对数	1	2	3	4	5	6
机械角数	α_m=360°（一圆周）					
电角度	360°	720°	1080°	1440°	1800°	2160°

2. 槽电角度α

电动机铁心上每槽在圆周上所占的电角度为槽电角度，用α表示，可用下式计算：

$$\alpha = \frac{p \times 360°}{Q} = \frac{2p \times 180°}{Q}$$

式中，Q为铁心槽数；p为极对数。

例如：4极电动机定子槽数为36，那么：槽电角度为α_4＝（2×360°）/36＝20°；6极电动机定子槽数为36，那么：槽电角度为α_6＝（3×360°）/36＝30°。

四、节距

节距是指一个线圈的两条有效边之间所跨占的槽数。节距又称跨距，用槽数y表示，例如$y=4$（槽），习惯上以y＝（2～6）槽的方式表达，即线圈的一条边嵌放于第2槽，另一条边嵌放于第6槽，两条边所跨槽的中间距离为4槽（第2槽和第6槽各算半槽），如图1-3所示。

当线圈节距$y=\tau$时，称为整距绕组，又称全距绕组；当$y<\tau$时，称为短距绕组；$y>\tau$时，称为长距绕组，如图1-3所示。

五、每极每相槽数、相带、极相组

1. 每极每相槽数

对三相异步电动机，各相定子绕组在铁心内圆上占有相等的槽数，而且，每

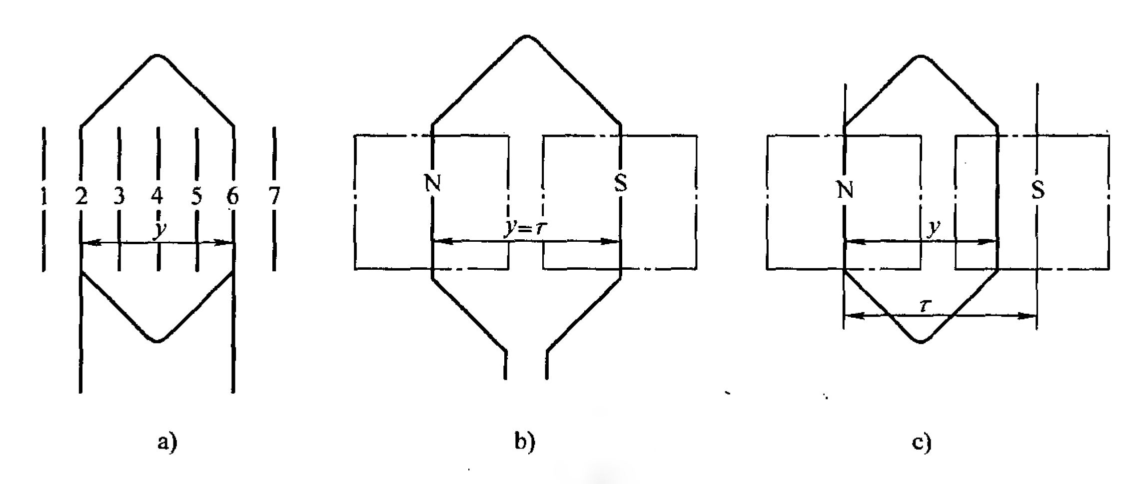


图 1-3 线圈节距
a）节距 y（2－6） b）整距绕组 c）短矩绕组

相不集中在一起。通常，将一相绕组按极数均匀分组，每个极距为一组，这样每个极距下每相所占的铁心槽数称为每极每相槽数，用 q 表示，即

$$q=\frac{Q}{2mp}$$

例如：某电动机相数 $m=3$，定子槽数 $Q=36$，若极数 $2p=4$，则每极每相槽数 $q_4=\frac{36}{3\times4}=3$；若 $2p=6$，则 $q_6=\frac{36}{3\times6}=2$。

2. 相带

通常，每个极距下每相的槽所占区域称为相带，用空间电度角表示。对大多数绕组，因为每一极距为 180°，三相绕组均匀分配，故相带为 180°/3＝60°，称此为 60°相带绕组。

对少数绕组，例如后面讲到的倍极两速电动机中，三相绕组按少数极 60°相带排列，再按多数极改接时，相带则为 120°相带。

对某些特殊结构绕组，其相带还有 30°。例如第二章中介绍的Y-△混合绕组即是。

相带不同，绕组的排列、布置和接线形式不同。三相异步电动机中，绝大多数采用的是 60°相带。

3. 极相组

每相绕组是按线圈组在铁心圆周上均匀分布的。每组则由一个或几个线圈连绕而成。每组线圈称为极相组。

线圈及每相的极相组数与电动机的极数、槽数和绕组的嵌放形式有关。

六、并绕根数和并联路数

1. 并绕根数

对于电流较大的电动机，为了便于线圈的绕制和嵌放，通常不采用单根大截

面积的导线，而用截面积较小的多根导线合并在一起绕制线圈。合并在一起的导线根数，即称为并绕根数。

当拆换铁心中的旧线圈时，须注意线圈是否由多根导线并绕，并应弄清其并绕根数。

2. 并联路数

并联路数又称并联支路数。对于大电流电动机，为了便于线圈的绕制和嵌放，除了上述用截面积较小的多根导线并绕线圈的方法外，还可通过接线使一相绕组线圈实现多路并联。这在交流电动机定子绕组中经常采用。但要注意，每个支路的串联导体总数及线规应相同，否则易造成环流发热。所以，不同极数的电动机，并联路数的多少应符合以下关系：极数 $2p$ 除以并联路数 a 等于整数。

例如：8 极电动机中一相绕组并联路数 a 可以为 2、4、8；10 极电动机中一相绕组并联路数 a 可以为 2、5、10 等。

第二节　电动机绕组的类别

电动机的各种绕组在结构上可分为多种类别，现在将几种常用的分类简要介绍如下。

一、集中绕组与分布绕组

1. 集中绕组

对交流电动机而言，在凸极铁心上套制的绕组，及在隐极铁心内，每个磁极下每相绕组只占一个槽，即 $q=1$，这种绕组是集中绕组。

2. 分布绕组

分散布置于铁心槽内，每极每相槽数 $q>1$ 的绕组为分布绕组。例如：大多数三相电动机的定子绕组和转子绕组，都是分布绕组。

二、单层绕组、双层绕组与单双层绕组

1. 单层绕组

在铁心每一个槽内只嵌放一个线圈的一个有效边，这种嵌放的绕组称单层绕组。它的每一个线圈占两个槽，故总线圈数等于槽数的一半。单层绕组特点是线圈少，工艺简单，嵌绕省工，但电气性能稍差。单层绕组较多应用于 10kW 以下的小功率三相电动机的定子绕组。

2. 双层绕组

铁心的每个槽内嵌放 2 个线圈的有效边，分置于槽的上、下层。这种嵌放的绕组称为双层绕组。因每个线圈占有 2 个半槽空间，故总线圈数等于槽数。由于槽中嵌入不同线圈边，存在相间短路的可能性，因此需要增加层间绝缘，这使得槽的利用率下降，且嵌绕较费工时。但可选用适当的短节距，来改善电气性能。

双层绕组广泛应用于 10kW 以上的三相交流电动机的定子绕组中。

3. 单双层绕组

有少数三相交流电动机和部分单相交流电动机定子铁心的一部分槽中，仅嵌入单层线圈边，而在另一部分槽中则嵌有双层线圈边，这种既有单层又有双层的绕组，称为单双层绕组。这种绕组兼有单层绕组和双层绕组的特点，嵌放工艺费工时，但是电气性能较好。

三、显极式绕组和庶极式绕组

1. 显极式绕组

显极式绕组的特点是：每个线圈组形成一个磁极，每相线圈组的数目与磁极数相等。在显极式绕组中同一相相邻的线圈组应形成异性磁极，故采用“尾-尾”或“首-首”反串连接。图 1-4 为 2 极显极式绕组示意图，图中表示每相有 2 个线圈组，形成 2 个磁极。

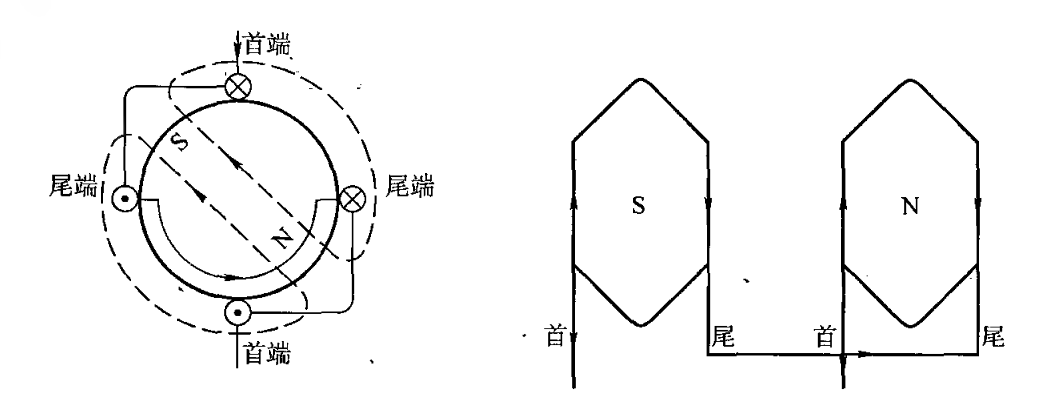


图 1-4　2 极显极式绕组示意图

2. 庶极式绕组

庶极式绕组的特点是每个线圈组形成 2 个磁极，每相线圈组的数目为磁极数的一半。在庶极式绕组中，同一相相邻的线圈组应形成同性磁极，故采用“尾-首”或“首-尾”正串连接。图 1-5 为 4 极庶极式绕组示意图，图中表示每相有 2

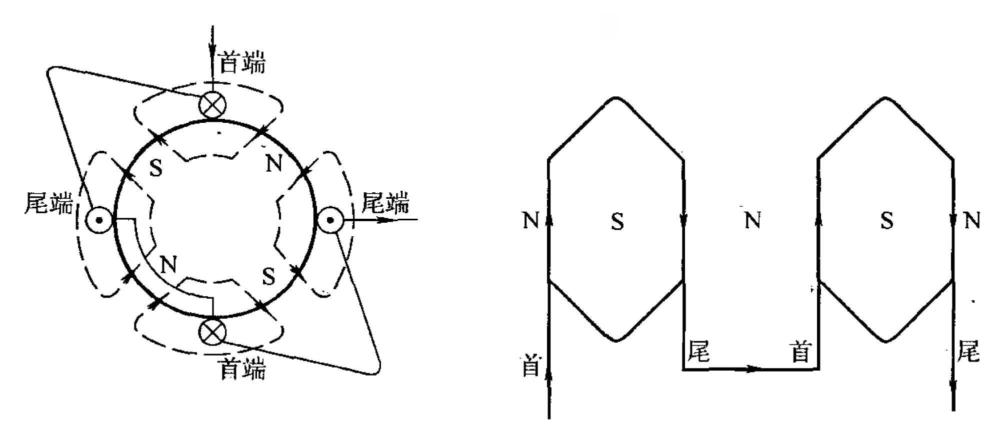


图 1-5　4 极庶极式绕组示意图

个线圈组，形成 4 个磁极。庶极式接法在三相单绕组多速电动机中较为常用。

四、定子绕组和转子绕组

电动机的绕组分定子绕组和转子绕组。

定子绕组嵌放在定子内，而交流异步电动机的定子绕组一般按一定的形式嵌放在铁心的槽内。

由于绕组均放在定子上，尽管电动机运行时这些绕组静止不动，但是由于绕组中通有电流，均处在磁场中，所以它们本身也受到一定的电磁力作用。因此，对它们的要求不仅是要满足一定的电磁性能，还要有足够的机械强度。

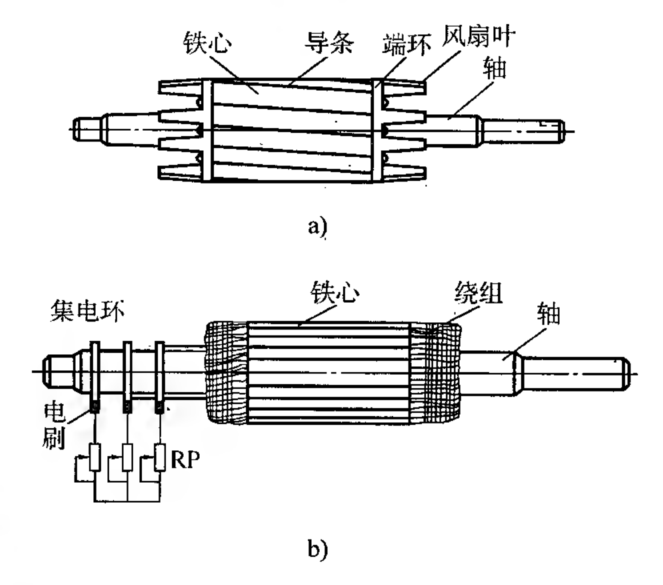


图 1-6　笼型转子和绕线转子
a）笼型转子　b）绕线转子

转子绕组嵌放在转动的转子铁心槽内。交流异步电动机的转子绕组一般分两种形式：一种是笼型绕组（铸铝绕组），如图 1-6a 所示，这种绕组结构简单且耐用，常用于中小型电动机中；另一种是绕线转子绕组，如图 1-6b 所示，这种绕组在转子铁心槽内嵌放一定形式的铜线绕组，结构复杂，适用于需要改善起动性能和调速性能的较大容量电动机中。

第三节　电动机绕组的图形介绍

为了清楚地认识和了解电动机各种绕组的结构型式，并帮助人们在实践中操作，对电动机绕组常用各种结构图形来表示。工程上常用的有：绕组展开图、圆形简化接线图、绕组端部视图等。这些图形从不同的角度对电动机绕组予以表达。读者对以上各种图形首先应该会看，其次还要会画。

一、绕组展开图

绕组展开图是工程上表示绕组的常用方法。现以一台三相异步电动机为例来说明，如图 1-7 所示。

图 1-7a 所示为该电动机的定子铁心（为清楚起见，图 1-7a 中未绘出绕组）。假设将铁心切断，并朝左、右方向在一个平面上展开，如图 1-7b 所示。在图 1-7b中，既绘有铁心又绘有绕组。进一步假设将铁心移去，只剩下绕组，如图 1-7c所示，即是一台三相 4 极电动机定子单层绕组的展开图。图 1-7c 中，用粗实

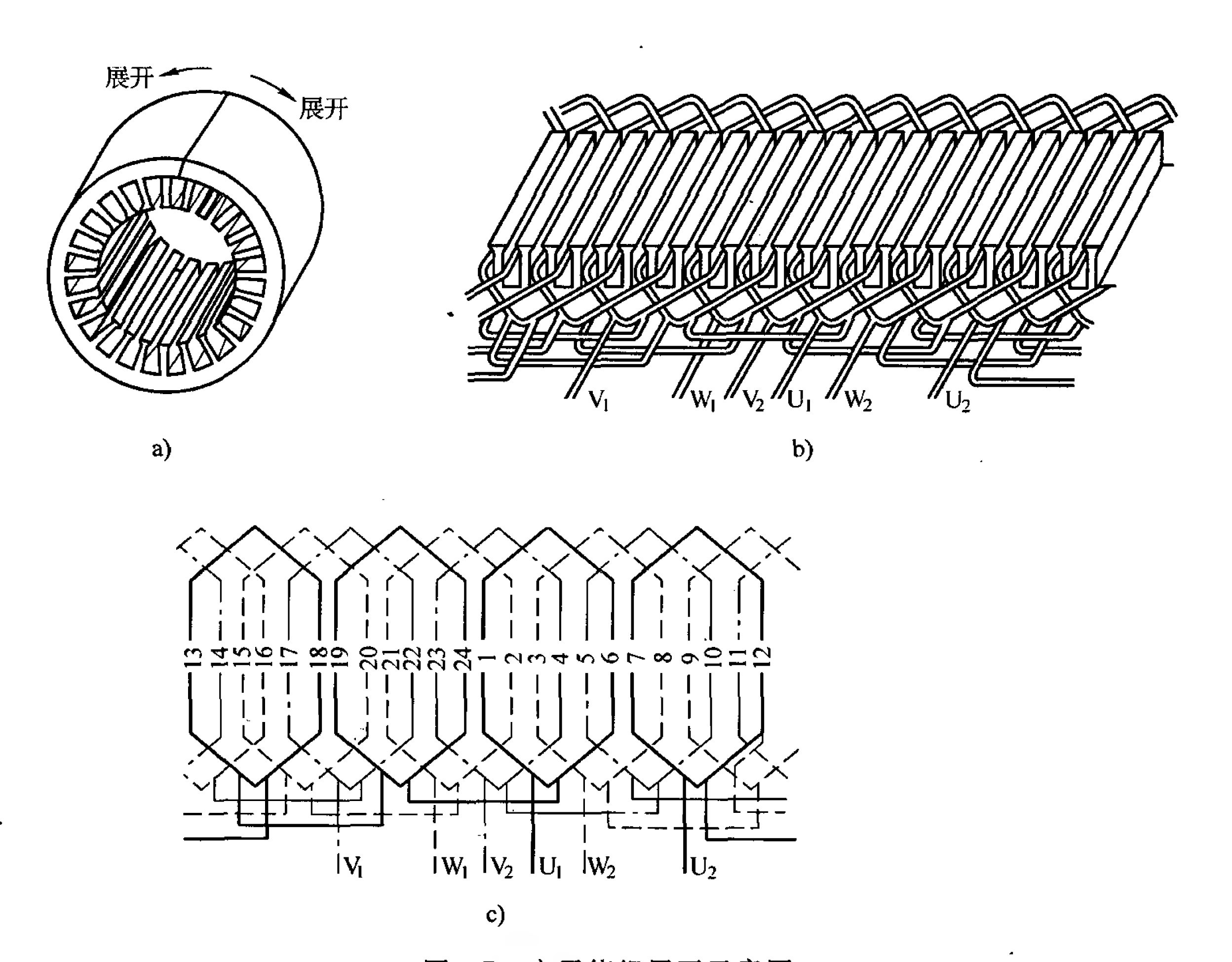


图 1-7　定子绕组展开示意图

a）电动机定子铁心　b）展开后的定子铁心和绕组　c）绕组展开图

线、细点划线和细虚线三种线条表示 U、V、W 三相绕组。在绕组展开图上既可以看出三相线圈中任意一相线圈分布在哪几个槽中，也可以看出线圈的节距以及各相绕组是怎样连接的。

绕组展开图能较清楚地反映绕组的结构情况，工程上的图样均用此类图形表达绕组，但对结构稍微复杂的电动机，其绕组会一时不容易看清。

二、绕组圆形简化接线图

对交流异步电动机定子双层绕组，绕组在定子槽内的分布容易确定和嵌放，而其每相绕组的端部接线却较复杂。为清楚每相的各线圈组间的连接方式，习惯上采用一种简化的圆形接线图来表示。

现以一台三相 2 极电动机显极式绕组（见图 1-8a）为例，将作图步骤介绍如下。

1）将定子圆周先分为 $2p\times3$（段）圆弧，这样的圆弧段数等于该电动机的线圈组组数。在本例中，圆弧段数等于 $2\times1\times3=6$。

2）按顺序给每个线圈组编号，按交流电动机的分布原则，U 相线圈组编号应是 1、4；V 相的线圈组编号应是 3、6；W 相线圈组编号应是 5、2。

3）按三相绕组的对应边相互间隔120°电角度的原则，确定三相引出线的位置：U_1 引出线的位置在线圈组1的首端，V_1 引出线的位置在线圈组3的首端，W_1 引出线的位置在线圈组5的首端。

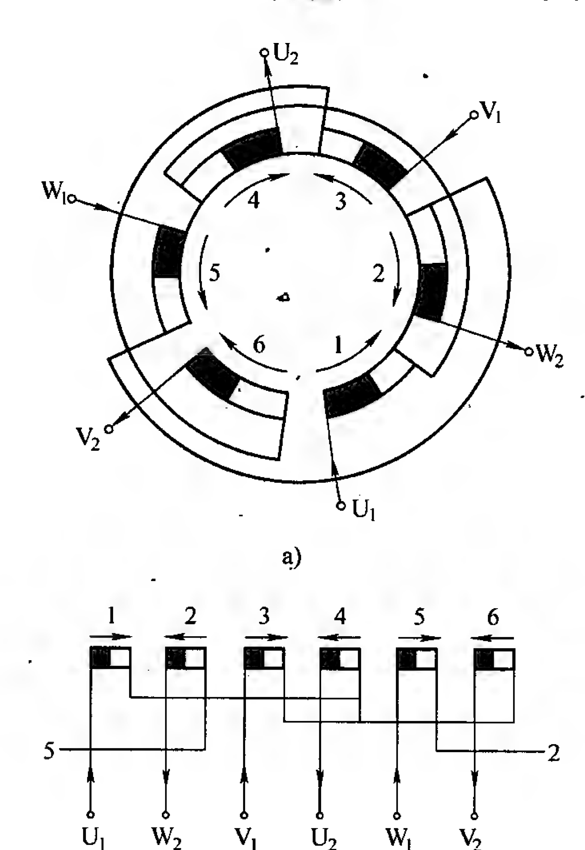


图1-8　三相2极电动机定子绕组的圆形简化接线图

4）根据显极式绕组同相相邻线圈组应产生异性极的要求，采用“尾-尾”或“首-首”反串接法。线圈组1的尾端和线圈组4的尾端连接，线圈组4的首端为 U_2。线圈组3的尾端和线圈组6的尾端相连，线圈组6的首端为 V_2，线圈组5的尾端和线圈组2的尾端相连，线圈组2的首端为 W_2。

图1-8b可理解为是图1-8a的展开图，与图1-8a相比，图1-8b更为简化。

图1-8a和图1-8b中，若设各相电流由绕组首端流入，尾端流出，则其电流方向如图中箭头所示。可见，相邻线圈组之间的电流方向是相反的，这个规律很重要，是以后检查绕组接线正确与否的重要方法，根据这个规律，也可用另外其他方法接线和引出线，可达到同样效果。

图1-9所示为三相4极电动机定子绕组圆形简化接线图，供读者参考。

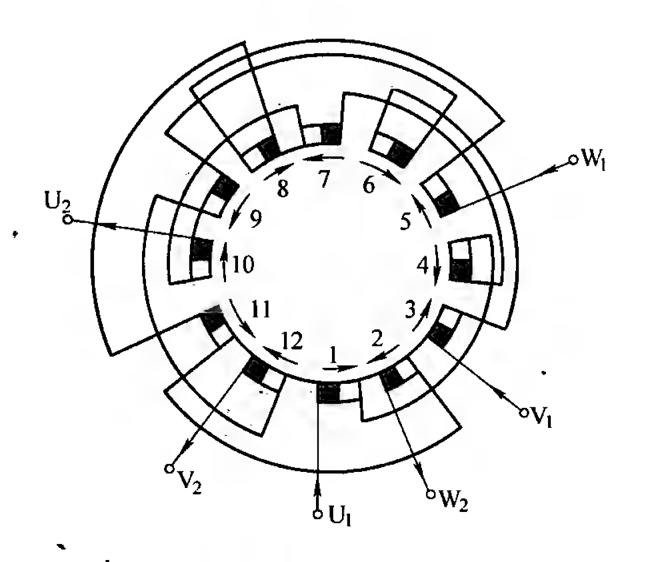


图1-9　三相4极电动机定子绕组圆形简化接线图

三、绕组端部视图

这种图形是电动机绕组的一种新颖画法，集展开图和圆形简化接线图为一体，表达更形象且接近于电动机实物，因此实用价值较大。以三相2极6槽双层电动机绕组为例，其端视图如图1-10所示。

图形是从电动机接线端所看到的图，突出绕组的安排和接线。图中的大圆表示电动机铁心内圆。大圆外圆周上的小圆圈，代表了每槽中的线圈边，图中的每槽内有两个线圈边，每槽均有标号，大圆外侧的圆弧，其端点均连接在小圆圈上，表示绕组的线圈（端部）。图中用粗实线、虚线、点划线分别代表 U、V、W 各相线圈的分布情况。大圆内的圆弧段则代表了各线圈的连接线，其引出线则从各线圈的端点向外画出，并标上出线端点。

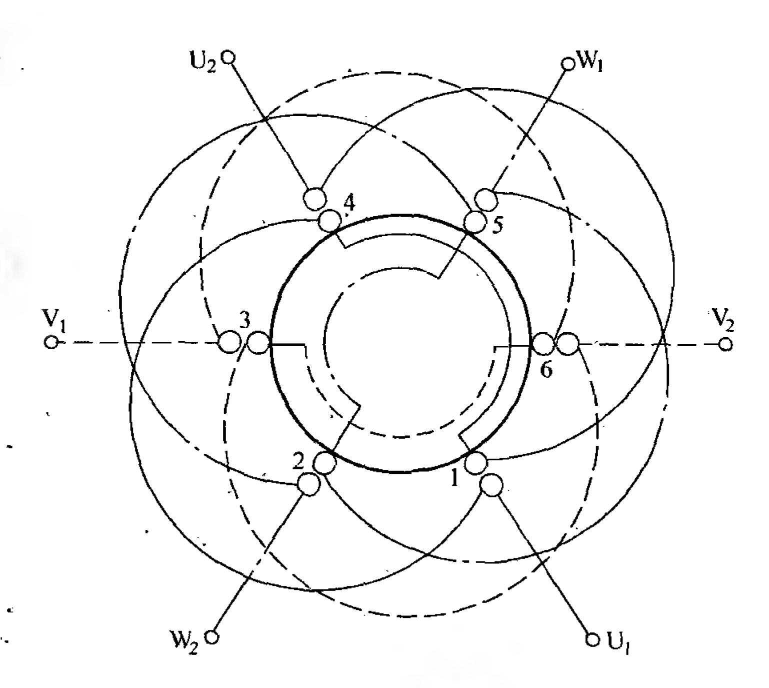


图 1-10　三相 2 极 6 槽电动机定子绕组端视图

参考这种图形，可直接了解实际电动机绕组的安排和接线情况，模拟性强，但这种图形的绘制较难。

转子绕组也可用端视图表示，如图 1-11 所示，读者可参考。

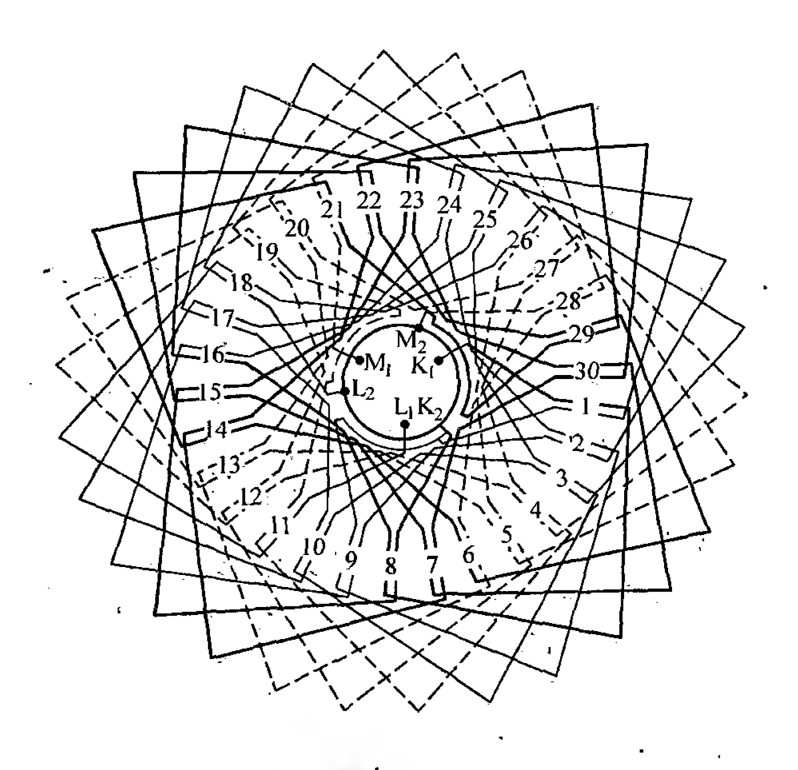


图 1-11　4 极 30 槽甲类转子波形绕组端视图

注：前节距 $y_1=1-9$，后节距 $y_2=1-8$，短节距 $y_3=1-8$。

第四节　异步电动机绕组的端部接线、标志及槽满率

一、三相异步电动机定子绕组的端部接线

当三相异步电动机的定子绕组和三相电源接通时，各相绕组端部之间必须以一定的方式先连接起来，通常有两种：一种是星形（Y）联结；另一种为三角形（△）联结。图1-12所示为两种联结的示意图。图1-13所示为三相异步电动机接线盒内绕组出线端与电源的连接示意图。

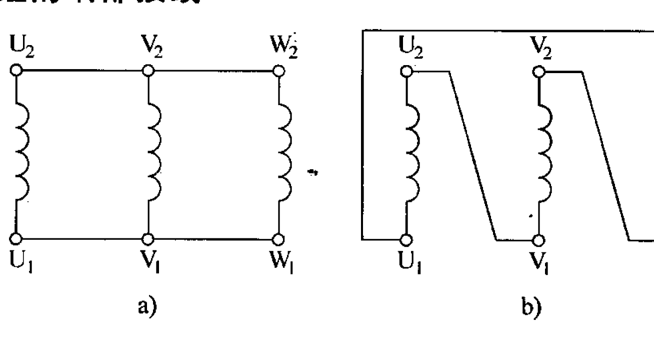


图1-12　三相绕组联结示意图

a）星形联结　b）三角形联结

常用的三相380V异步电动机，功率在3kW以下的，一般采用Y联结（每相绕组的额定电压为220V）；功率在4kW以上的，一般为△联结（每相绕组的额定电压为380V）。

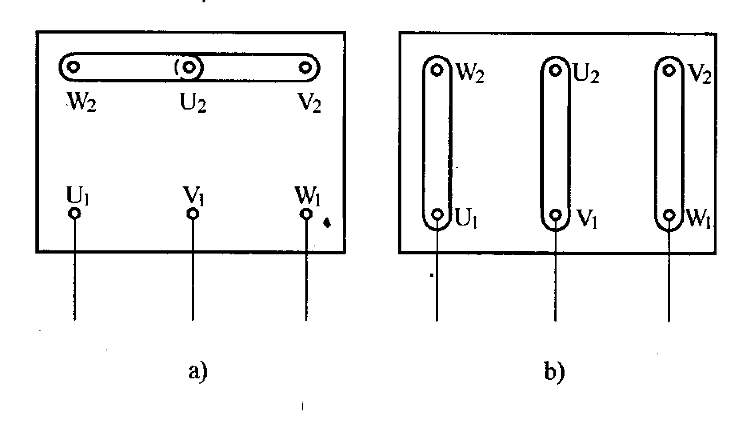


图1-13　三相绕组接线盒与电源连接示意图

a）星形联结　b）三角形联结

二、异步电动机的线端标志

绕组的线端标志，又称为线端标记、线端符号或代号。根据国家统一规定，表1-2列出了常用三相及单相交流电动机绕组的线端标志。

表1-2　交流异步电动机绕组的线端标志

绕组名称		现在采用		曾经采用	
		始端	末端	始端	末端
三相定子绕组（六个线端）	第一相	U_1	U_2	D_1	D_4
	第二相	V_1	V_2	D_2	D_5
	第三相	W_1	W_2	D_3	D_6
三相定子绕组（三个线端）	第一相	U		D_1	
	第二相	V		D_2	
	第三相	W		D_3	

（续）

绕组名称		现在采用		曾经采用	
		始端	末端	始端	末端
绕线转子绕组	第一相	K		Z_1	
	第二相	L		Z_2	
	第三相	M		Z_3	
单相电动机绕组	主绕组	U_1	U_2	D_1	D_2
	辅助绕组	Z_1	Z_2	K_1	K_2

注：表中现在采用的标志根据 GB1971—1980。

三、槽满率

槽满率 k_Q 反映了槽内导体松紧的程度，k_Q 可定义为

$$k_Q = \frac{\text{槽内带绝缘的导线所占面积}}{\text{槽有效面积}}$$

对于圆导线而言

$$k_Q = \frac{z_Q n d_0^2}{S_W} = \frac{z_Q n d_0^2}{S_c - S_i} \tag{1-4}$$

式中，z_Q 为每槽导体数；n 为并绕根数；d_0 为带绝缘导线直径（mm）；S_W 为槽有效截面积（mm^2），$S_W = S_c - S_i$（mm^2）；S_c 为槽截面积（mm^2）；S_i 为槽绝缘所占面积（mm^2）。

k_Q 为小于 1 的数，对于圆导线而言，一般在 0.65～0.8 范围内。槽满率若取得过低，虽然嵌放容易，但槽面积未充分利用；槽满率若取得过高，则嵌放难度大，且嵌放时易使导线的绝缘受损，导致发生匝间短路。

在重绕电动机线圈时，必须计算、核对槽满率 k_Q，这样才能保证既顺利嵌放线圈又能充分利用槽面积，从而提高电动机性能。

第二章　三相异步电动机绕组的嵌放

第一节　三相异步电动机定子绕组概述

三相异步电动机中，定子绕组是很重要的部件。本节主要介绍定子绕组嵌放的基本原则和要求、绕组的基本形式、改进后的实际绕组种类以及绕组系数的含义。

一、定子绕组嵌放的基本原则和要求

定子铁心槽内嵌放着三相绕组。根据三相异步电动机的工作原理，当这三相绕组通入三相正弦交流电流后，在气隙中要产生一定极数的圆形旋转磁场。为此，三相绕组必须满足以下基本条件：①每个线圈的节距 y 等于或接近极距τ，每相线圈的连接必须使产生的磁场形成一定的极数；②三相定子绕组必须完全相同，且在圆周上各相之间的分布互差 120°电度角。此外，考虑到不同功率以及改善性能的要求，还要考虑实际嵌放工艺的难易程度和材料的成本等因素，在嵌放定子绕组时必须遵照以下原则和要求：

1）保证满足上述的两个基本条件，通入三相交流电后能产生一定极数的旋转磁场。

2）准确的导线的截面积和绕制的线圈匝数能保证电动机功率及电流的要求。

3）对较大容量的电动机优先考虑采用合适形式的绕组，以改善电动机的性能。

4）对容量较小的电动机在保证电动机性能的基础上，则优先考虑其嵌放工艺力求简单方便，且节省材料等。

二、定子绕组的基本形式

为了满足绕组的基本条件，三相定子绕组最基本的嵌放形式如图 2-1 所示。从图 2-1 的各分图中可以看出，各种极数的三相基本形式的定子绕组共同规律是：

1）定子的最少槽数：$Q_{min}=2mp$。

例如：2 极：$Q_{min}=6$；4 极：$Q_{min}=12$；6 极：$Q_{min}=18$；8 极：$Q_{min}=24$；10 极：$Q_{min}=30$；……。

对多槽定子铁心，若要嵌放一定极数的三相绕组，只要定子槽数 Q 是最少

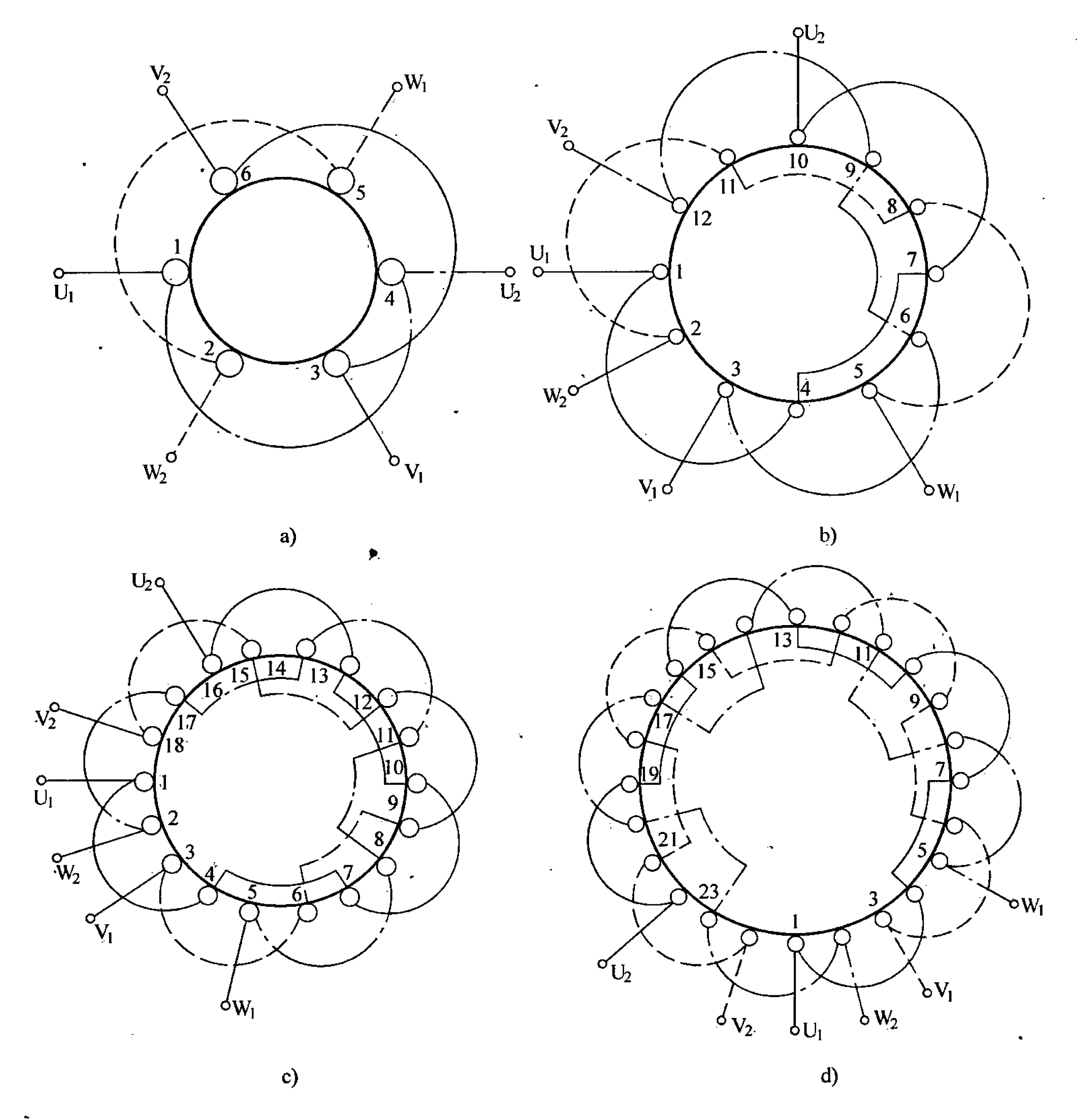


图 2-1 定子绕组的基本形式

a）2 极 b）4 极 c）6 极 d）8 极

槽数的整倍数，即可容易嵌放。

2）每相绕组的节距 $y=\tau$（互差 180°电度角），且每极每相的槽数 $q=1$（集中绕组）。

3）三相绕组为单层绕组，三相绕组的几何尺寸（还包括线径和匝数）及连接方式完全相同。

4）各相绕组的对应边在圆周上互差 120°电度角，各相带的排列规律为：U、W′、V、U′、W、V′；U…。

三、定子绕组形式的改进及种类

定子绕组仅采用上述的基本形式是不够的。同一种极数的电动机，还要考虑到功率的大小和其他性能的要求，以及实际嵌放工艺和使用材料的成本等因素。经过长期的多次实践，目前有常用的几种不同形式绕组，供生产实际的需要。

首先，原基本形式的绕组，每极每相的槽数 $q=1$。这对功率稍大、铁心内圆尺寸稍大的电动机不适用，故实际中，均取 $q>1$（选 $q=2\sim6$），由每极每相一个线圈改为由 q 个线圈连绕的极相组代替，这就是前面所说的分布绕组。例如，4 极电动机，基本绕组为 $Q_{min}=12$，$q=1$，现在 $q=2$，则定子槽数 $Q=12\times2=24$；$q=3$，则 $Q=12\times3=36$。即：24，36，48，60…槽定子均可嵌成 4 极绕组。

这样，适当 q 的分布绕组对功率稍大的电动机不仅性能有所改善，而且嵌放工艺也较容易。

其次，绕组形式的改进，也是从绕组的基本形式开始的。现以 2 极电动机定子三相绕组为例说明。设定子槽数 $Q=18$，嵌放单层绕组。

排列时，首先计算每极每相槽数 $q=\dfrac{Q}{2mp}=18/(3\times2)=3$，其次在定子槽中分配各相带，每相带为 $q=3$ 槽，各相带排列规律仍为：U、W′、V、U′、W、V′，如图 2-2b 所示。

各相分别嵌放线圈或极相组。最初时，按图 2-2c 所示，取 $y=9$（1～10），由 3 个线圈连绕为一极相组，线圈大小、匝数完全相同，嵌放在该相槽中，这种即为单叠绕组。这种绕组简单，但由于节距较大（整距），线圈端部用线多，嵌放工艺困难，尤其对内圆较小的 2 极电动机更突出。

后来，在保证各相槽不变（包括电流方向）的情况下，改用图 2-2d 所示的方式嵌放绕组，即取 2 个、$y=8$（1～9）、大小相同的线圈为一极相组，1 个 $y=7$（1～8）的线圈为一极相组，仍然占用原来本相的槽。为保证和原来的电流方向相同，两个极相组采取首-首、尾-尾串联连接为一组，这种即为交叉式绕组。这种绕组节距缩短，端部用线减少，但嵌放时，对内圆较小的 2 极电动机仍然较难。

在上面绕组的基础上，又改用图 2-2e 所示的方式嵌放，即将原 2 个相同大小的线圈连绕的极相组改为同心式极相组，大：$y=9$（1～10），小：$y=7$（2～9），1 个线圈的极相组不变，两组仍采用首-首、尾-尾串联。这种称为同心交叉式绕组，这种绕组用铜线和交叉式基本相同，但嵌放时，采用整嵌式（嵌放完一相，再嵌放一相），对内圆小的 2 极电动机容易、省工，成为该类电动机最佳形式绕组。

对不同槽数、不同极数的电动机定子绕组还可改进为同心式、链式等多种形式。

这些绕组虽然形式变化，但是均在单叠绕组的基础上，而且和单叠绕组的性能基本一样，只不过省料和嵌放方便。故此类均属单层绕组，适合小型电动机的定子绕组采用。

对容量较大的三相异步电动机，不仅要考虑工艺和节约材料，更要注意电动机运行时性能的改善和提高。比如，嵌放绕组时要注意尽可能减少和消弱高次谐波磁场的产生和影响等。为此，定子三相绕组由原来单层绕组改为双层短距叠绕组、单双层叠绕组、分数槽绕组、混相（散布）绕组、混合绕组等，以适应各种电动机的需要。

目前三相异步电动机定子绕组的形式及适用范围见表2-1，供读者参考。

四、绕组系数的含义

（1）分布系数 K_d　分布绕组与集中绕组相比，能充分利用空间位置，并有利于散热，还可消弱谐波磁场，优化电动机性能。故一般实际电动机多数采用分布绕组。但是，分布绕组的采用，使每相基波合成电动势有所减小。分布系数 K_d 反映的是其减小的程度。K_d 的计算公式为

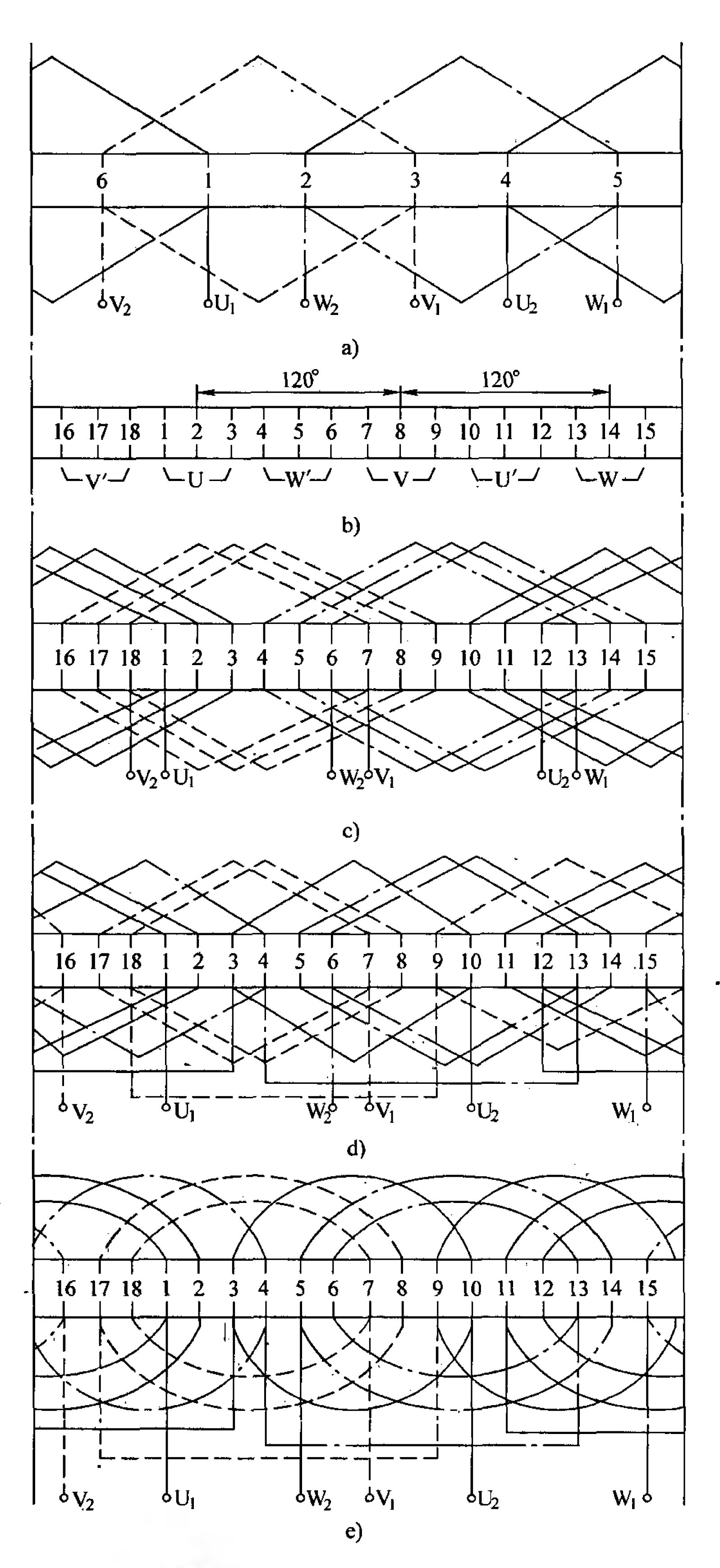


图 2-2　18 槽 2 极电动机定子绕组不同形式展开图
a）基本形式绕组　b）各相相带的分布
c）单叠绕组　d）交叉式绕组
e）同心交叉式绕组

表 2-1　三相异步电动机定子绕组形式及适用范围

<table>
<tr><th colspan="3">绕组形式</th><th rowspan="2">主要适用范围</th></tr>
<tr><th>层数</th><th>端部连接方式</th><th>绕组排列方式</th></tr>
<tr><td rowspan="3">单层</td><td>同心式</td><td rowspan="3">60°相带整数槽</td><td>2 极小功率电动机</td></tr>
<tr><td>链　式</td><td>$q=2$ 的 4、6、8 极小功率电动机</td></tr>
<tr><td>交叉式</td><td>$q=3$ 的 2、4、6 极小功率电动机</td></tr>
<tr><td rowspan="4">双层</td><td rowspan="4">叠绕式</td><td>60°相带整数槽</td><td>较大功率电动机定子绕组</td></tr>
<tr><td>分数槽绕组</td><td>8 极以上电动机定子绕组及特殊电动机</td></tr>
<tr><td>混相（散布）绕组</td><td>q 值较大的大中型 2 极电动机定子绕组</td></tr>
<tr><td>电容电动机绕组</td><td>试制中的电动机</td></tr>
<tr><td>单双层</td><td>同心式</td><td>60°相带整数槽</td><td>$q>2$ 的中小型电动机定子绕组</td></tr>
</table>

$$K_d = \frac{\sin\dfrac{q\alpha}{2}}{q\sin\dfrac{\alpha}{2}}$$

式中，q 为每极每相槽数；α 为槽电角度。

对三相异步电动机

$$q = \frac{Q}{2pm}$$

式中，Q 为定子槽数；$2p$ 为极数；m 为相数（$m=3$）。

表 2-2 为三相 60°相带绕组的分布系数 K_d 的值。

表 2-2　三相绕组的分布系数 K_d

q	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K_d	1.000	0.966	0.960	0.958	0.957	0.956	0.956	0.956	0.955

（2）短距系数 K_y　短距绕组较之整距绕组，能显著消弱谐波磁场，优化电动机性能，并可使线圈端部长度缩短，节省铜线。短距绕组多在双层定子绕组中采用。但是，采用短距后，线圈内基波合成电动势也有所减小，短距系数 K_y，反映的是其减小的程度。K_y 的计算公式为

$$K_y = \sin\left(\frac{y}{\tau}\times 90°\right)$$

式中，τ为极距；y 为线圈的节距。

要注意：对于三相单层绕组，形式上虽可由短距线圈构成，但绝大多数绕组在电磁本质上仍然为整距绕组，其 $K_y=1$。

（3）绕组系数 K_w　绕组系数 K_w 是分布系数 K_d 和短距系数 K_y 的乘积，即

$$K_w = K_d K_y$$

绕组系数 K_w 的含义是：电动机绕组采用分布短距绕组后，它表现为每相绕组基波合成电动势减小的程度，在选择绕组时要考虑到这一点。

第二节　三相单层定子绕组的嵌放

在小型三相异步电动机的定子中，单层绕组应用甚广，与双层绕组相比，有如下特点：

1）因为每槽内只嵌放 1 个线圈边，所以电动机的线圈总数等于铁心槽数的一半，节省绕线和嵌线工时。

2）因为槽内只有 1 个线圈边，所以不需要层间绝缘，在槽内不存在相间击穿问题，且槽面积的利用率较高。

3）绕组线圈的端部互相交叠，较厚，整形困难。

4）单层绕组虽然也采用短距绕组，但从电磁性能看，绝大多数绕组仍属整距绕组，故电气性能较差。

单层绕组的最初形式为叠绕式，经过改进；有同心式、链式、交叉式及同心交叉式等形式，以适用于不同的电动机。

一、单叠绕组及嵌放

单叠绕组是由基本形式绕组发展而形成的实用单层绕组，它是其他形式绕组的最初形式和基础形式。和基本形式绕组比，单叠绕组的 $q>1$（可以是 2，3，4……），所以它每相在 1 对磁极下要放 1 个极相组，这个极相组由 q 个线圈依次串联绕制而成。每相的若干个极相组之间再串联在一起。这种绕组在容量很小的电动机中以及某些型号电动机中采用。由于它的线圈节距 $y=\tau$，较大，端部用铜线较多，对 q 值较大的电动机绕组嵌放较难，现在逐渐被其他形式绕组所代替，只在个别电动机上还应用。

先仅举一例说明对该种绕组形式的排列、绕制、嵌放和接线方法的规律。

【例 2-1】　一台电动机，$2p=4$，$Q=24$，单层叠绕组。

排列方法：

1）计算：

$q=\dfrac{Q}{2mp}=\dfrac{24}{2\times3\times2}=2$，一个极相组有 2 个线圈

单层绕组共绕制 $mp=3\times2=6$ 个极相组

$y=\tau=\dfrac{Q}{2p}=\dfrac{24}{4}=6$（$y=1\sim7$）

2）每极每相线圈边占 2 槽，为使相绕组的对应边互差 120°，排列顺序：如

图 2-3a 所示，U、W′、V、U′、W、V′；U…。

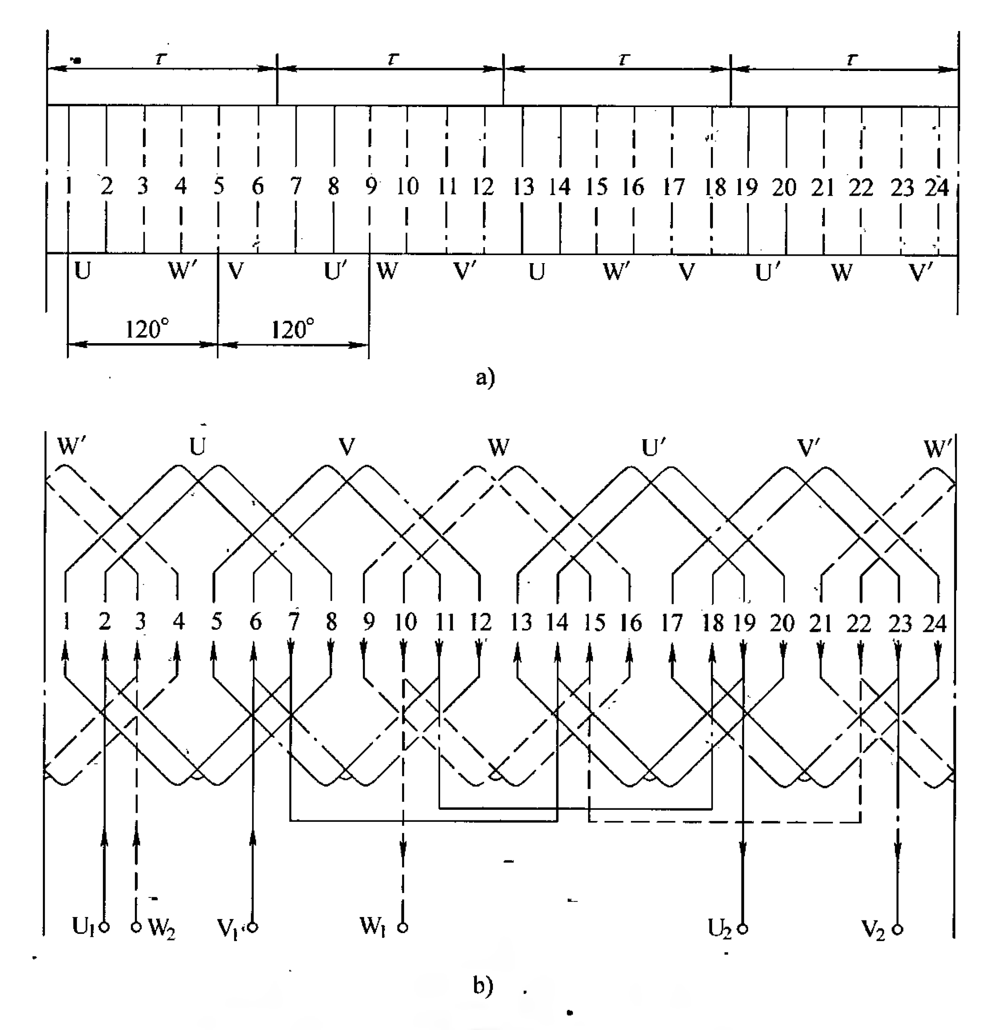


图 2-3　4 极 24 槽单层叠绕组展开图

a）每相在槽内的排列顺序　b）各极相组的位置及各相绕组的连接

3）各极相组的组成及位置：如图 2-3b所示，其中 U、U′为 U 相的线圈对应边；V、V′和 W、W′分别为 V 相和 W 相的线圈对应边。

4）取各相首端，U_1、V_1、W_1 互差 120°，将各相极相组分别按“首-尾”相接成 U、V、W 三相绕组，末端为 U_2、V_2、W_2。如图 2-3b 所示，端视图如图2-4所示。

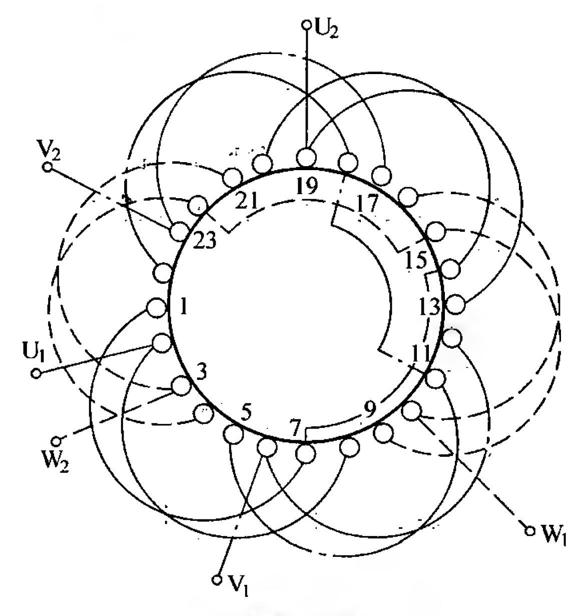


图 2-4　4 极 24 槽单层叠绕组端视图

检查方法：设三相交流电流从首端进入（三相交流电流的真实方向是从首端两进一出，或两出一进），如图 2-3b 所

示。各线圈边电流方向如图所示，按电流方向划分，正好为 4 个区域（和磁极数相同），这样排列为正确。否则，必须检查各相位置或接线是否有误。

这里说明一下，在保证上述 4 个区域电流方向不变的情况下，各相出线端（U_1、V_1、W_1、U_2、V_2、W_2）完全可以灵活安排。比如，U 相首端从槽 2 取，也可在槽 14 取，V 相首端从槽 6 取，也可从槽 18 取，同样 W 相首端从槽 10 及槽 22 取出都一样。既然有这些灵活性，实际的首端和末端选取时，尽可能考虑离出线盒距离近一些。

绕制、嵌放和接线工艺要点：

1）选好绕线模和电磁导线，记住每线圈匝数，每两个线圈为一组，绕制 6 个极相组。

2）用交叠法嵌放，属常规嵌放。嵌放规律：手握第 1 个极相组，在铁心中的开始两槽中（图 2-3b 所示的槽 7，8）顺序嵌放两线圈的沉边，另两个浮边吊起。退空 2 槽（槽 9，10），嵌放第 2 个极相组的两个沉边于后 2 槽中（槽 11，12），并再将其浮边嵌放于开始槽的前 2 槽中（槽 5，6），节距为 1～7。退空 2 槽，再嵌放第 3 个极相组的两沉边和两浮边…。

第 6 个极相组嵌放完毕后，最后将吊起的第 1 个极相组两浮边嵌入两槽中（槽 1，2）。嵌放顺序见表 2-3。

表 2-3　交叠法嵌放顺序

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	沉边	7	8	11		12		15		16		19	
	浮边				5		6		9		10		13
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	沉边	20		23		24		3		4			
	浮边		14		17		18		21		22	1	2

3）将每相的两个极相组“首-尾”依次串联，留出三相的首、末出线端。

二、单层同心式绕组的嵌放

单层同心式绕组是单层叠绕组的改进形式，主要结构特点是：极相组是由节距不等、大小不同而中心线重合的线圈组成，故命名同心式。主要优点：一个极相组的线圈端部在一个平面上不重叠，线圈嵌放容易。特别适用于定子内腔较小、节距较大的 2 极小型电动机中。现举例说明这种绕组的排列、绕制、嵌放、接线方法和规律。

【例 2-2】　1 台电动机，$Q=24$，$2p=2$，单层同心式绕组。

排列方法：

1）计算：

每极每相槽数　$q=\frac{Q}{2mp}=\frac{24}{2\times3\times1}=4$

极距　$\tau=\frac{Q}{2p}=\frac{24}{2}=12$

2）各极相组的组成和位置：由于每极每相占 4 个槽，线圈的组成可以有两种：第一种连绕 4 个大小不等的同心线圈极相组，每相绕一组，全台共 3 组。平均节距 $y=13$（1～13），这种线圈端部长，用线较多。第二种，将原来 4 个线圈分为 2 个极相组，每个极相组由 2 个同心线圈连绕组成，$y=11$（1～12）和 9（2～11），仍然占有原来的相带槽中。显然第二种省线，较适用。

图 2-5 为其绕组展开图，图 2-6 为其绕组端视图。

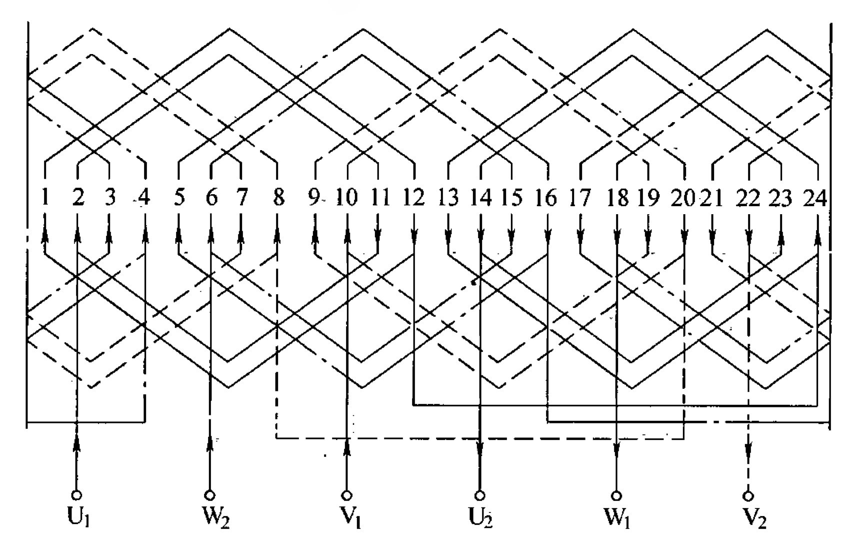


图 2-5　绕组展开图

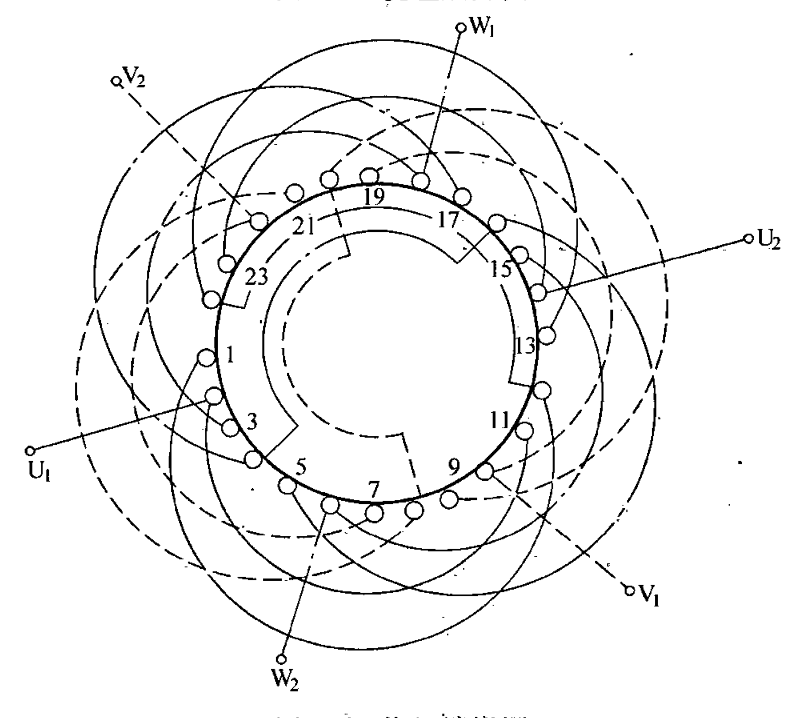


图 2-6　绕组端视图

绕制、嵌放和接线要点：

1）选同心式绕线模和线径，记住线圈匝数，每个极相组由连绕的 2 个同心式线圈组成，共绕 6 组。

2）嵌放工艺要点：有两种嵌放法。

① 交叠法，是正规嵌法。嵌放规律：嵌放 2 槽，退空 2 槽，再嵌放 2 槽，又退空 2 槽，吊边数为 4，嵌放 2 槽沉边，接着嵌放其浮边，退空 2 槽，……嵌放顺序见表 2-4。

表 2-4　交叠法嵌放顺序表

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	沉边	11	12	15	16	19		20		23		24	
	浮边						10		9		14		13
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	沉边	3		4		7		8					
	浮边		18		17		22		21	2	1	6	5

② 整嵌法，是绕组简易嵌法。交叠法嵌放时，需要吊起 4 个边，对内腔较小的定子嵌放困难。整嵌法就是逐相分层嵌放，每相一层，在同一平面上，最后使其绕组端部形成三平面结构，嵌放顺序见表 2-5。

表 2-5　整嵌法嵌放顺序表

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	底层	11	2	12	1	23	14	24	13				
	中层									15	6	16	5
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	中层	3	18	4	17								
	上层					19	10	20	9	7	22	7	21

3）连接：每相的两个极相组“首-首”或“尾-尾”依次串联。

三、单层链式绕组的嵌放

单层链式绕组是对 $q=2$ 的单叠绕组另一种改进形式。主要结构特点是：所有线圈的形状、大小完全相同，三相线圈的排列如链互扣，故称为链式绕组。主要优点是：线圈的节距比单叠绕组及同心式绕组小，端部用铜量少，但电气性能一样，故在 $q=2$ 的 4、6、8 极电动机中应用较多，例如：24 槽 4 极、36 槽 6 极和 48 槽 8 极等三相异步电动机。另外，单层链式绕组可采用无接头嵌放工艺，方便、快捷，所以，它被应用得很普遍。

现举例说明这种绕组的排列、绕制、嵌放和接线方法。

【例 2-3】 1台电动机，$Q=24$，$2p=4$，单层链式绕组。

排列方法：

1）计算：

每极每相槽数 $q=\dfrac{Q}{2mp}=\dfrac{24}{2\times3\times2}=2$

计算节距 $y=\tau=\dfrac{Q}{2p}=\dfrac{24}{4}=6$（1~7）（单层叠绕组）

2）在保证各相在各极下所占的槽位置及电气性能（电流方向）和叠绕组完全一样的情况下，采用实际节距 $y=5$（1~6）的重组短距线圈，且每个线圈为1个极相组，全台共12个极相组（线圈），每相4个。

3）单层链式绕组的展开图如图2-7所示，端视图如图2-8所示。

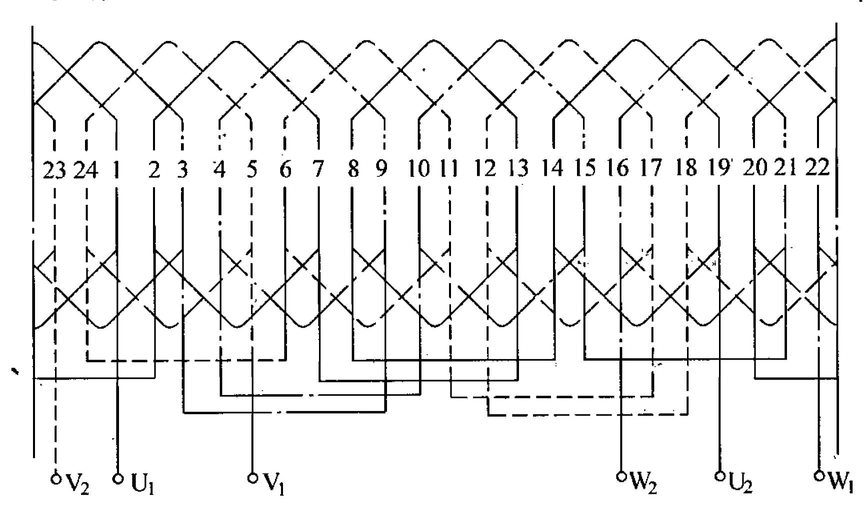


图 2-7 单层链式绕组的展开图

绕制、嵌放和接线要点：

1）绕制：选好绕线模和导线，记住每线圈匝数，共绕制12个相同的线圈，每个线圈为1个极相组。

2）嵌放采用交叠法。嵌放规律：嵌放1槽沉边退空1槽，再嵌放1槽沉边再退空1槽，再嵌放1槽沉边，嵌放其浮边，$y=$（1~6），退空1槽，吊浮边数为2，再嵌放沉边和浮边，……，嵌放顺序见表2-6。

3）每相极相组之间接线是

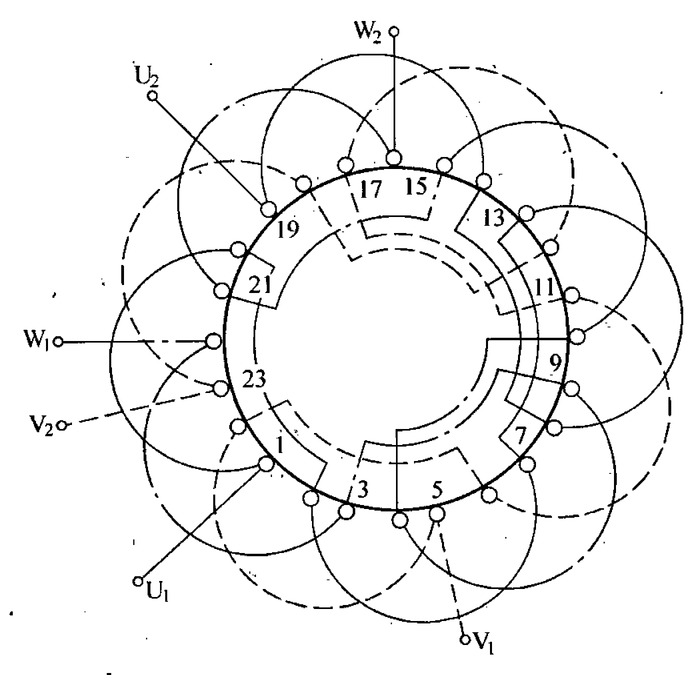


图 2-8 单层链式绕组的端视图

表 2-6　交叠法嵌放顺序表

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	沉边	1	3	5		7		9		11		13	
	浮边				24		2		4		6		8
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	沉边	15		17		19		21		23			
	浮边		10		12		14		16		18	20	22

“首-首”或“尾-尾”相串联。

若采用无接头嵌放工艺，绕制时，连绕 4 个线圈为 1 组，共 3 组。然后按无接头嵌放工艺，将三相绕组边嵌、边翻、边掏……直至嵌完，极相组之间无须接线。图 2-9 所示为无接头绕组端视图。

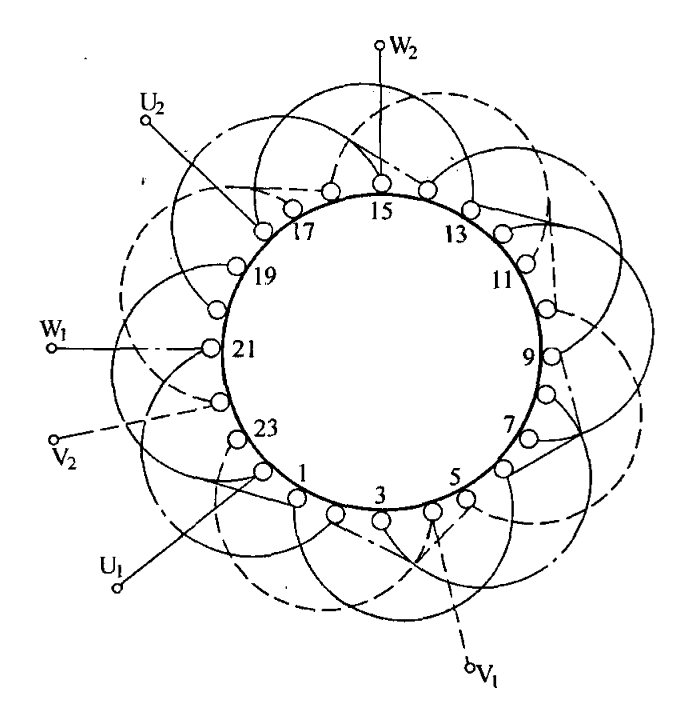


图 2-9　无接头绕组端视图

四、单层交叉式绕组的嵌放

单层交叉式绕组是对 $q=3$ 的单层叠绕组改进形式。主要结构特点是：每相绕组由线圈数不等、节距不同的 2 种线圈组交叉排列构成，因而得名。主要优点：比单层叠绕组的端部用铜量减少，而且也可采用无接头绕组。故在 $q=3$ 的 2、4、6……极电动机中经常应用。例如：18 槽 2 极、36 槽 4 极、54 槽 6 极、72 槽 8 极等小型三相电动机。现举例说明这种绕组的排列、绕制、嵌放和接线方法。

【例 2-4】　一台三相异步电动机，$Q=36$，$2p=4$，交叉式绕组。

排列方法：

1）计算：

每极每相槽数　$q=\dfrac{Q}{2mp}=\dfrac{36}{2\times3\times2}=3$

计算节距　$y=\tau=\dfrac{Q}{2p}=\dfrac{36}{4}=9$（1～10）（叠绕组）

2）在保证各相在各极下所占的槽位置及电气性能（电流方向）和叠绕组完全一样的情况下，采用实际节距 $y_1=8$（1～9），2 个线圈为一组；$y_2=7$（1～

8)，一个线圈为一组，重组线圈组。2 个线圈为一组共 6 组，1 个线圈为一组共 6 组，每相的极相组“首-首”、“尾-尾”串联。

3）单层交叉式绕组的展开图如图 2-10 所示，端视图如图 2-11 所示。

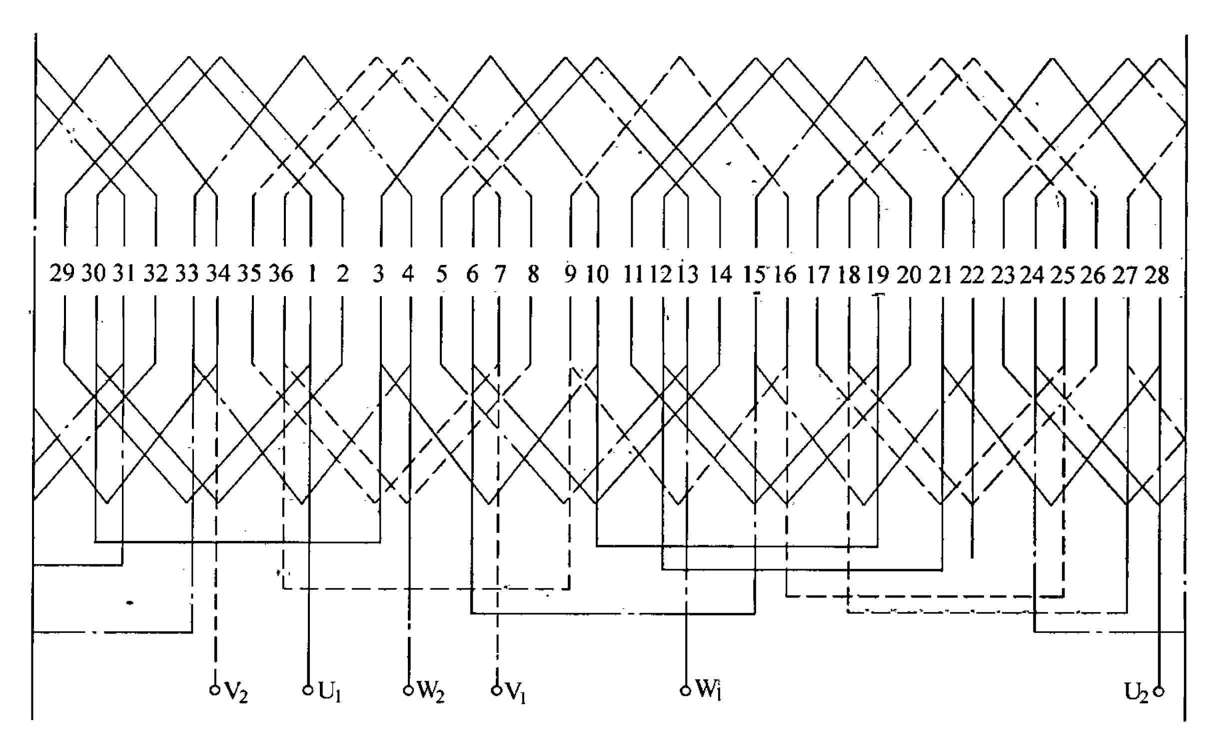


图 2-10　单层交叉式绕组的展开图

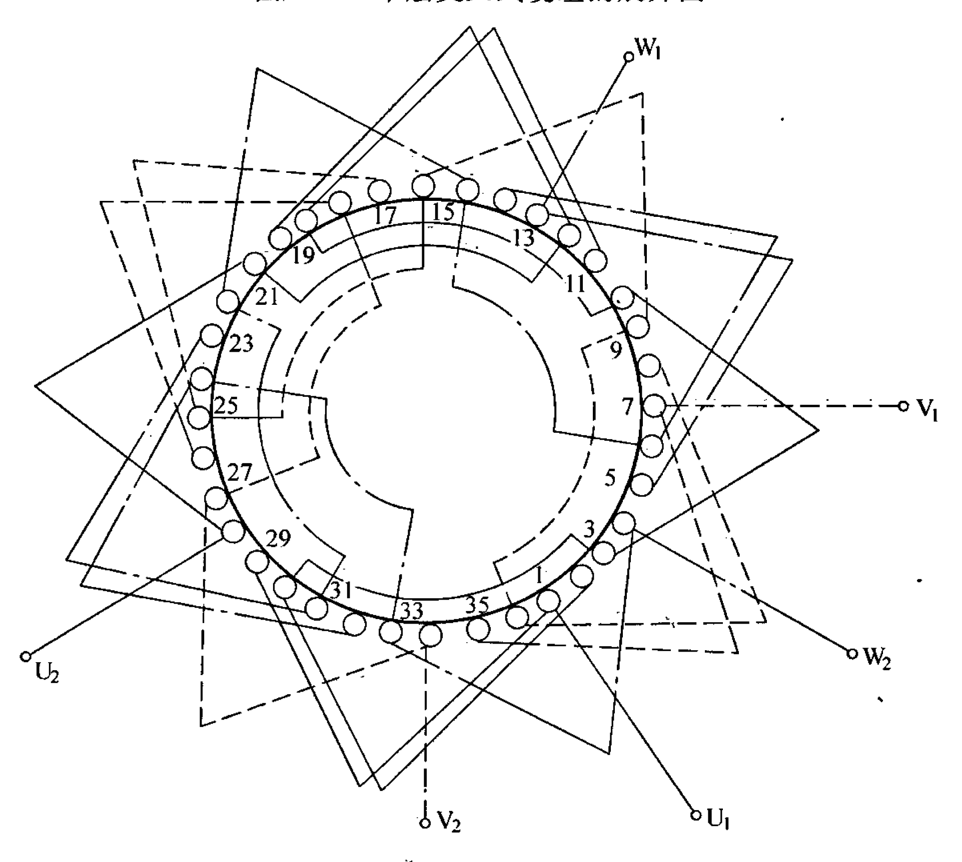


图 2-11　单层交叉式绕组的端视图

绕制、嵌放和接线要点：

1）绕制：选绕线模和导线，记住每线圈匝数。先绕制 $y=1\sim9$，且两个线圈连绕为一组，共6组，称为大组；再绕制 $y=1\sim8$，且一个线圈为一组，共6组，称为小组。

2）采用交叠法嵌放。嵌放规律：先嵌放2槽大组的沉边，退空1槽，再嵌放1槽小组的沉边，退空2槽，再嵌2槽大组的沉边，并嵌其浮边，退空1槽……吊边数为3，嵌放顺序见表2-7。

表 2-7　交叠法嵌放交叉式绕组

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	沉边	1	2	4	7		8		10		13		14		16		19		20
	浮边					35		36		3		5		6		9		11	
嵌放顺序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	沉边		22		25		26		28		31		32		34				
	浮边	12		15		17		18		21		23		24		27	29	30	33

3）每相的极相组采用“首-首”或“尾-尾”串联连接成三相。

和单层链式绕组一样，单层交叉式绕组也可采用一相连绕，用无接头嵌放工艺嵌放三相绕组。图2-12所示为无接头线圈组端视图。

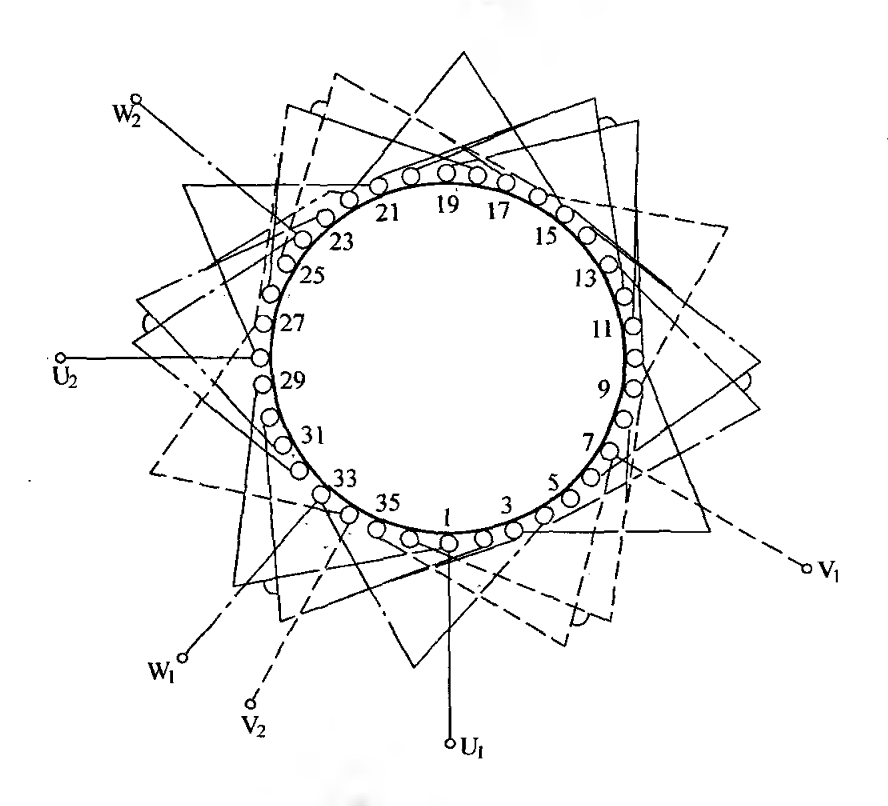


图 2-12　4极36槽单层交叉式无接头绕组端视图

五、单层同心交叉式绕组的嵌放

单层同心交叉式绕组是将交叉式绕组中 2 个相同线圈为一组的极相组（大组）改为同心式线圈绕制，它同时具备了同心式和交叉式绕组的优点，对 $q=3$，且极数为 2 的小功率电动机嵌放尤其方便，现以 $Q=18$，$2p=2$ 的电动机为例说明。

【例 2-5】 一台电动机，定子 $Q=18$，$2p=2$，嵌放单层同心交叉式绕组。

1）计算：

每极每相槽数 $q=\dfrac{Q}{2mp}=\dfrac{18}{2\times3}=3$

线圈计算节距 $y=\tau=\dfrac{Q}{2p}=\dfrac{18}{2}=9$（1～10）（单层叠绕组）

2）在保证各相绕组在每极下所占的槽位置及电气性能（电流方向）和叠绕组完全一样的情况下，实际采用了节距（1～10）和（2～9）两线圈套装在一起的同心式绕组以及节距为（1～8）的一个线圈为一组。每相的两种极相组间隔嵌放。

3）绕组端视图如图 2-13 所示。

绕制、嵌放和接线工艺要点：

1）绕制：选好同心式绕线模（y 为 1～10 和 2～9）和另一绕线模（y 为 1～8），以及导线，记住每线圈匝数，绕制同心式极相组 3 组（设为大组），绕制一个线圈为一组的也为 3 组（设为小组）。

2）嵌放工艺要点：有两种嵌放方法。

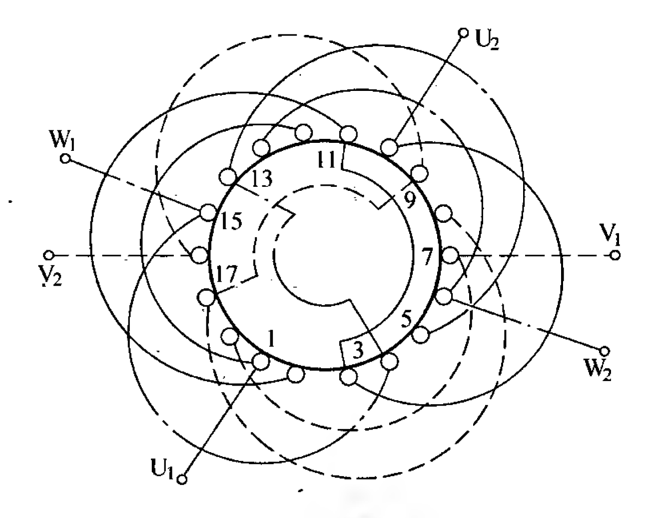


图 2-13　2 极 18 槽单层同心交叉式绕组端视图

① 交叠法：嵌放大组的沉边于 2 槽，退空 1 槽，嵌放小组的沉边于 1 槽，吊起 3 个浮边，退空 2 槽，嵌放大组的沉边于 2 槽，并将其浮边也嵌入槽中，再退空 1 槽，嵌放小组的沉边和浮边……如此循环，待嵌完后，将吊起的 3 个浮边再嵌入槽中，嵌放顺序见表 2-8。

表 2-8　交叠式嵌放顺序表

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	沉边	1	2	4	7		8		10		13		14		16				
	浮边					18		17		3		6		5		9	11	12	15

② 整嵌法：对内腔窄小的定子采用吊边嵌放增加了嵌放的难度，所以可将绕组逐相分层嵌放，先嵌 U 相，再嵌放 V 相和 W 相，这样嵌放容易。嵌放顺序见表2-9。

表 2-9　整嵌法嵌放顺序表

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	底层	1	12	2	11	10	3												
	中层							4	15	6	13	5	14						
	面层													7	18	8	17	16	9

3）各相极相组之间仍是“首-首”或“尾-尾”相串联。

六、单层短距链式绕组的嵌放

前面所说的几种单层绕组形式虽然有的采用了短距线圈，但其仅仅节约了铜线材料，从电磁性能上看仍属单层整距叠绕组，电气性能较差。这并不是说所有单层绕组都属于整距绕组。单层短距链式绕组即属于短距类型的绕组，嵌放规律简单，电气性能又得到了改善。这种绕组在一些油泵电动机中获得了应用。

【例 2-6】　一台电动机，定子 $Q=18$，$2p=2$，采用单层短距链式绕组，排列特点：

1）每极每相槽数　$q=\dfrac{Q}{2mp}=\dfrac{18}{2\times3\times1}=3$

2）计算节距　$y=\tau=\dfrac{Q}{2p}=\dfrac{18}{2}=9$（1～10）（单层叠绕组）

3）实际排列时，取 $y=7$（1～8），且每相在每极下所占的槽不和前面一样，3 个槽不连续，绕组分布较广。

绕组展开图如图 2-14 所示，绕组端视图如图 2-15 所示。

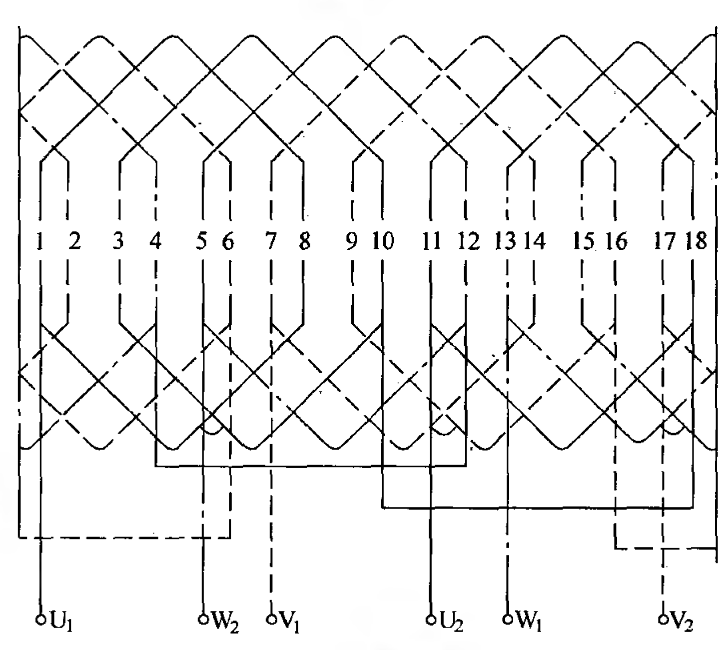


图 2-14　2 极 18 槽单层短距链式绕组展开图

嵌放工艺要点：

1）选绕线模（尺寸、形状都相同）和导线，记住每线圈匝数。每相绕 2 个极相组，其中一个极相组含 2 个连绕的线圈，另一个极相组只含 1 个线圈，所有线圈完全相同。

2）嵌放方法：用两种方法。

① 交叠法：先嵌放两个线圈连绕极相组的沉边，且嵌放1槽退空1槽，再嵌放1槽，退空1槽，再嵌放含1个线圈极相组的沉边，3个浮边暂时吊起；退空1槽，嵌放连绕极相组第1个线圈的沉边和浮边（$y=1\sim8$），退空1槽，再嵌放第2个线圈的沉边和浮边，退空1槽……最后，将吊边嵌放槽内。嵌放顺序见表2-10。

② 整嵌法：亦可逐相分层嵌放。先嵌放U相，再嵌放W相和V相，分层嵌放不用吊边，嵌线容易。嵌放顺序见表2-11。

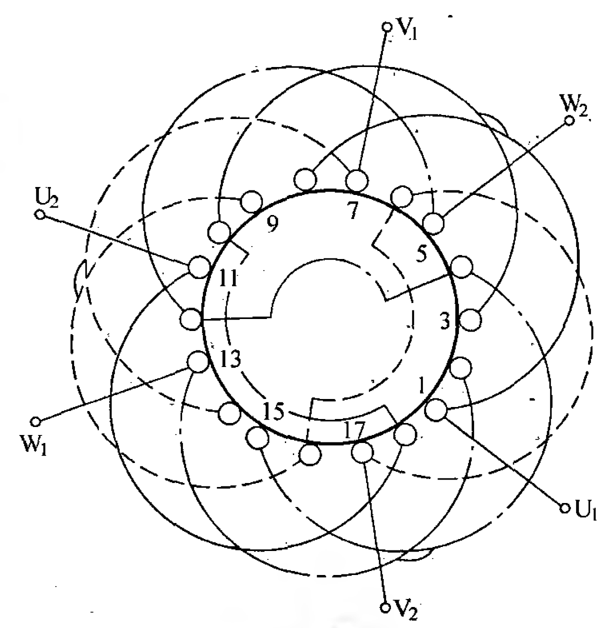


图2-15　2极18槽单层短距链式绕组端视图

表2-10　交叠法嵌放顺序

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	沉边	8	10	12	14		16		18		2		4		6				
	浮边					7		9		11		13		15		17	1	3	5

表2-11　整嵌法嵌放顺序

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	底层	8	1	10	3	18	11												
	中层							12	5	2	13	4	15						
	上层													14	7	16	9	6	17

3）各极相组之间采用“首-首”或“尾-尾”串联。

此种绕组形式对4极36槽、6极54槽电动机也适用。通过计算，其绕组系数$K_W=0.9$，发现和其同槽双层叠绕组（后面介绍）$y=7$（$1\sim8$）的绕组系数相同。

第三节　整数槽双层绕组的嵌放

前面说过，单层绕组的端部较厚，整形较难。当电动机容量较大，导线较粗时，这个缺点更显突出。此外，构成短距的单层绕组只占少数，也限制了它的应用范围。因此在较大容量的三相电动机定子中，大多采用双层叠绕组，和单层绕

组比较，双层绕组主要有如下特点：

1）双层叠绕组可选最有利的节距，以削弱气隙磁场中的高次谐波，改善电动机的电气性能，容量越大，这个优点越明显。

2）每个槽内分上、下两层线圈边，相对每个线圈的匝数比单层少一半，大容量电动机嵌放线圈时就显得容易。

3）各线圈形状、大小一样，相互重叠，嵌放后的绕组端部整齐美观。

4）由于线圈数的增加，绕制和嵌放工时较多。此外，槽内还需要放置层间绝缘，故槽面积利用率低，绝缘材料用得多。

5）有的槽内嵌放两相线圈，容易发生相间短路故障，在嵌放时必须垫好层间绝缘。

双层叠绕组可分整数槽（q = 整数）绕组和分数槽（q = 分数）绕组。本节主要介绍整数槽双层叠绕组的嵌放规律和接线方法。

一、线圈绕制特点

1）一台电动机定子槽数若为 Q，线圈共绕制 $S = Q$ 个，且每个线圈的匝数、形状、尺寸完全相同。

2）计算出每极每相的槽数：$q = \frac{Q}{2pm}$，这样每 q 个线圈连绕为一个极相组，共计 Q/q 个极相组，各极相组相同。

二、嵌放方法及规律

1）先确定线圈的节距 y：通常取 $y = (0.7 \sim 0.9) \times \frac{Q}{2p} = (0.7 \sim 0.9)\tau$（取整数）。

2）因为双层叠绕组的每个线圈的一个边放在槽的下层（称下层边），另一个边必须放在另外槽的上层（称上层边），所以下层边和上层边在各槽的排列位置规律是一样的，一般选下层边来排列，那么上层边只和下层边相差 y 个槽距离。

3）根据计算的每极每相槽数 q，按下层边排列情况是：每一个极相组（占 q 个槽）为一相，其顺序为：U 相、W′相、V 相，U′相、W 相、V′相，如此循环。先嵌放 y 个下层边，吊起 y 个上层边后，再嵌一个下层边后，即嵌放上层边，如此嵌放，直至下层边全部嵌完后，最后再依次嵌放吊起的上层边。

【例 2-7】 一台 4 极 36 槽电动机定子，嵌放双层叠绕组。

1）选节距 $y = (0.7 \sim 0.9) \times \frac{Q}{2p} = 0.8 \times \frac{36}{4} = 7.2$

取：$y = 7$（1 ~ 8）。

2）计算：$q = \frac{Q}{2pm} = \frac{36}{4 \times 3} = 3$，绕 $\frac{S}{q} = \frac{36}{3} = 12$ 个极相组，每个极相组含 3 个连绕的线圈。

3）嵌放的步骤称为交叠法，先连着嵌放 2 个极相组的 6 个下层边，当嵌完第 3 个极相组的第 2 个下层边后（即第 8 个槽），即可将其上层边放在第一槽的上层，以后循环。嵌放顺序见表 2-12。读者可参看其绕组展开图（见图 2-16）和端视图（见图 2-17）。

表 2-12　交叠法嵌放顺序

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	1	2	3	4	5	6	7	8		9		10		11		12		13
	上层									1		2		3		4		5	
嵌放顺序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层		14		15		16		17		18		19		20		21		22
	上层	6		7		8		9		10		11		12		13		14	
嵌放顺序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
槽号	下层		23		24		25		26		27		28		29		30		31
	上层	15		16		17		18		19		20		21		22		23	
嵌放顺序		55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
槽号	下层		32		33		34		35		36								
	上层	24		25		26		27		28		29	30	31	32	33	34	35	36

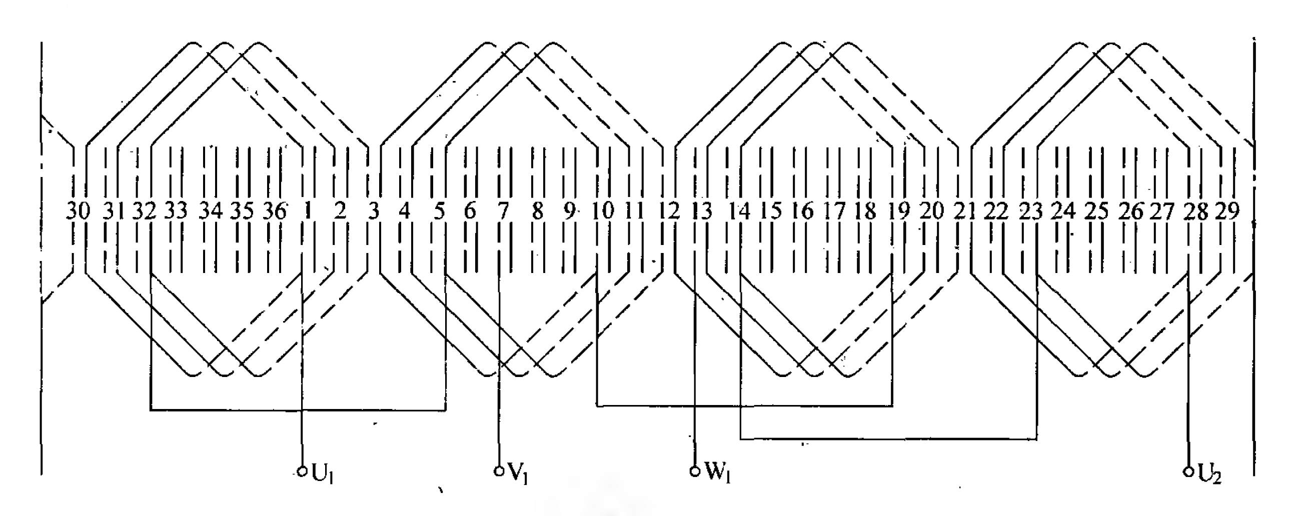


图 2-16　4 极 36 槽双层叠绕组 U 相展开图

三、接线方法和规律

由于双层叠绕组多在较大容量的电动机中采用，所以这种绕组需要接成多路并联支路。前面已经说过，一台电动机能接成多少支路，只要符合公式 $2p/a$（a 为路数）是整数就可以。例如：4 极电动机，每相绕组可接为 $a=1$、$a=2$ 或 $a=4$ 路。所接的路数不同，绕组接线方法也不同，但是有一定规律。

例如：对【例 2-7】的 4 极 36 槽电动机双层叠绕组，如果接成一路的绕组

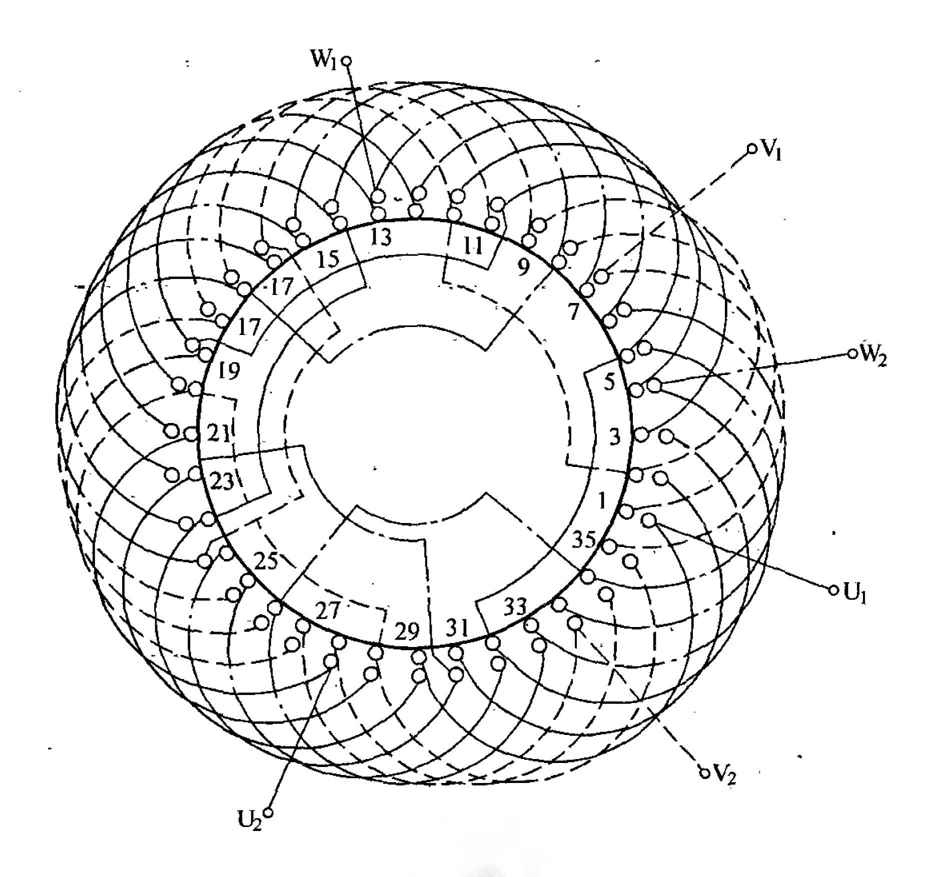


图 2-17　双层叠绕组端视图

（$a=1$），则有以下方法接成：

为方便看清接线，常用圆形简化接线图，如图 2-18a 所示。图中先画出 12 个极相组（符号），每个极相组的右边出线端表示下层出线端（称首端），左边出线端表示上层出线端（称尾端），12 个极相组在圆周上按 1、2、3……12 依次排列（和实际嵌放次序一样）。

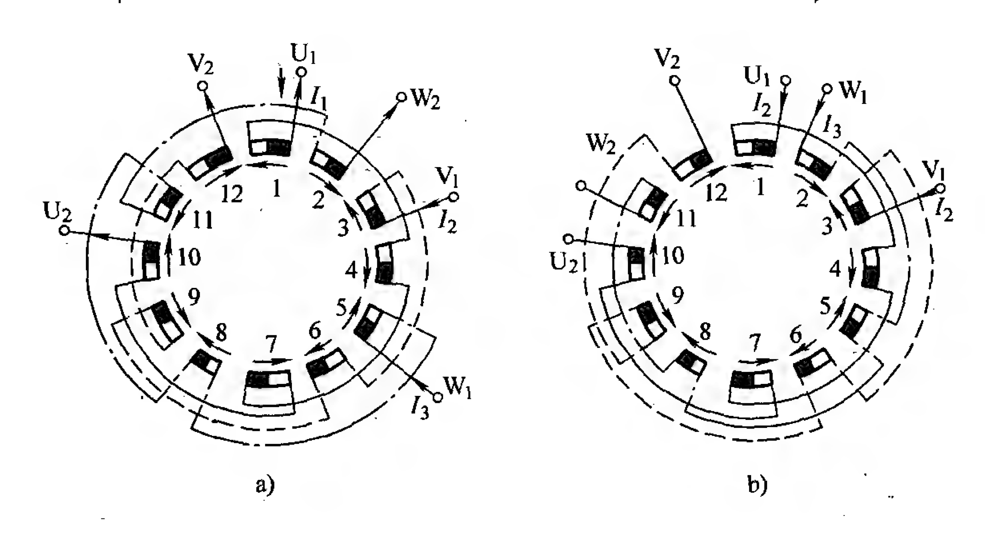


图 2-18　4 极 12 个极相组圆形简化接线图

a) 1 路 1、2、5 出线　b) 1 路 1、2、3 出线

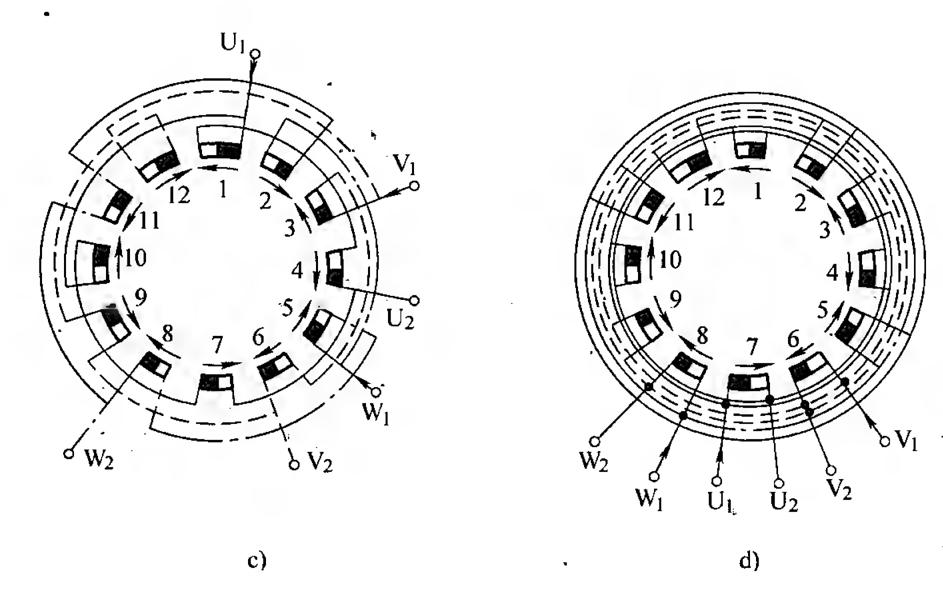


图 2-18 4 极 12 个极相组圆形简化接线图（续）
c）2 路出线 d）4 路接线

先确定各相绕组的出线首端，常有两种方法：①取极相组 1、3、5 的首端分别为 U、V、W 相的首端，称 U_1、V_1、W_1，俗称 1、3、5 出线，如图 2-18a 所示；②或取极相组 1 的首端为 U_1，极相组 2 的尾端为 W_1，极相组 3 的首端为 V_1，俗称 1、2、3 出线，如图 2-18b 所示。

各相的首端确定后，再找出各相的极相组。当第 1 个极相组定为某相后，每隔两个（第 4 个）即是该相的极相组。

本电动机的 1、4、7、10 个极相组为 U 相，3、6、9、12 个极相组为 V 相，5、8、11、2 个极相组为 W 相。

然后，将各相按“首-首”、“尾-尾”依次串联连接后，即得出 U_2、V_2、W_2 端。

若在图 2-18a 和图 2-18b 一路接法的圆形简化图中各相首端通一试验电流后，不难发现，各极相组电流方向均相反（图中电流箭头指向相反），这是一个重要规律。按此规律，即可顺利地在图 2-18c 和图 2-18d 图中接为 2 路或 4 路接线图。

以图 2-18c 二路接线为例说明接法：如前一样确定各相的极相组，并标出各极相组的电流方向（各组电流方向相反）。每相 4 个极相组中，相邻的两个为一路，按电流的方向依次串联，然后再按电流方向将两路并联，得出该相的首、尾端。

图 2-18d 4 路接法将每相的 4 个极相组按电流方向并联成 4 条支路后，即可确定各相的首、尾端。

依照上述接线规律，对多极多路电动机绕组接线前，最好画出它们的圆形简化接线图，再按图形连接实际电动机绕组。这样，可避免接线错误。此外，在确定各相的首、尾端时，尽可能使它们离电动机的出线盒近一些，防止出线端部

过长。

第四节　分数槽绕组的嵌放

三相定子绕组在空间的分布必须保证三相电动势、电流及磁场的平衡，否则就不能成为对称三相绕组。前面所讲的，当 q 等于整数时，无论单层或双层叠绕组，由于各相绕组在各极下的分布情况都相同，因此很容易成为三相对称绕组。但是，有的电动机由于各方面的原因，使 q 等于分数，这样，不可能将槽分割成为分数，也不可能制成分数线圈来嵌线，只有采用不同于前面的方法来安排三相绕组，这就是分数槽绕组。

分数槽绕组在某些电动机中经常遇到。例如，多速变极异步电动机，当改变极数时，就会碰到这种情况。有的电机厂为了提高电动机定子铁心的利用率，常把一种磁极数的定子冲片在其他磁极下使用，也要采用分数槽绕组。在修理电动机时，有的遇到需要改极修理，也会遇到分数槽等等。

遇到分数槽电动机时，定子绕组的分布原则是：在每个磁极下允许各相占有不同的槽数，但必须有规律地分配每相线圈于各磁极下，使每相线圈总数相等，达到三相平衡。

一、检验能否嵌放三相对称绕组的方法

一台三相异步电动机计算出的 q 为分数槽，是否能嵌放成三相对称绕组需要满足以下公式：

$$\frac{Q}{3t}=\text{整数}$$

式中，t 表示极对数（p）与槽数（Q）的最大公约数。

【例 2-8】　30 槽定子能否嵌成 4 极三相对称绕组？

答：此台电动机的每极每相槽数：

$$q=\frac{Q}{2pm}=\frac{30}{4\times3}=2\frac{1}{2}$$

是分数槽，极对数 2 与槽数 30 的最大公约数 t 等于 2，得到：

$$\frac{Q}{3t}=\frac{30}{3\times2}=5$$

是整数，故能嵌放成 4 极三相对称的双层叠绕组。

【例 2-9】　30 槽定子能否嵌放 6 极三相对称绕组？

答：此台电动机的每极每相槽数：

$$q=\frac{Q}{2pm}=\frac{30}{6\times3}=1\frac{2}{3}$$

是分数槽，极对数 3 与槽数 30 的最大公约数 t 等于 3，得到：

$$\frac{Q}{3t}=\frac{30}{3\times3}=3\ \frac{1}{3}$$

是非整数，故不能嵌放成 6 极三相对称的双层叠绕组。

二、分数槽绕组的排列配置方法

先通过实例予以说明，然后得出其排列配制规律。

【例 2-10】 试确定 27 槽 6 极定子绕组的排列配制。

1）先检验：

$$q=\frac{Q}{2pm}=\frac{27}{6\times3}=1\ \frac{1}{2}$$

属分数槽，极对数 3 与槽数 27 的最大公约数 t 等于 3，得到：

$$\frac{Q}{3t}=\frac{27}{3\times3}=3$$

是整数，能配制成三相对称绕组。

2）排列配制：和前面双层叠绕组一样，只考虑下层边的排列，上层边和下层边相差节距 y：

$$y=\frac{Q}{2p}\mp\varepsilon_0=\frac{27}{6}-\frac{1}{2}=4$$

下层边的配制：因为每相有 $Q/3=27/3=9$ 个线圈，这样分配到 6 个磁极下，每相可以制成 3 个极相组，含 2 个线圈和 3 个极相组只含一个线圈。同时，三相的极相组在铁心内交替布置，见表 2-13，图 2-19 为 U 相绕组的展开图。

表 2-13　6 极 27 槽分数槽绕组线圈排列

N			S			N			S			N			S		
U	W	V	U	W	V	U	W	V	U	W	V	U	W	V	U	W	V
2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1

根据上例及其他例解可得出分数槽绕组的排列配置规律：

① 设每极每相槽数 $q=B\frac{c}{d}$，则各极相组必由 B 个及（$B+1$）个线圈组成，其排列次序每经 d 个极相组循环一次。

② 每次循环的 d 个极相组中，有 c 个极相组含有（$B+1$）个线圈，（$d-c$）个极相组含有 B 个线圈。

③ 循环次数 = 总极相组数除以 d。

一般情况下，c/d 的值为 1/2、1/4、3/4、1/5、1/7 等，其绕组排列可参照

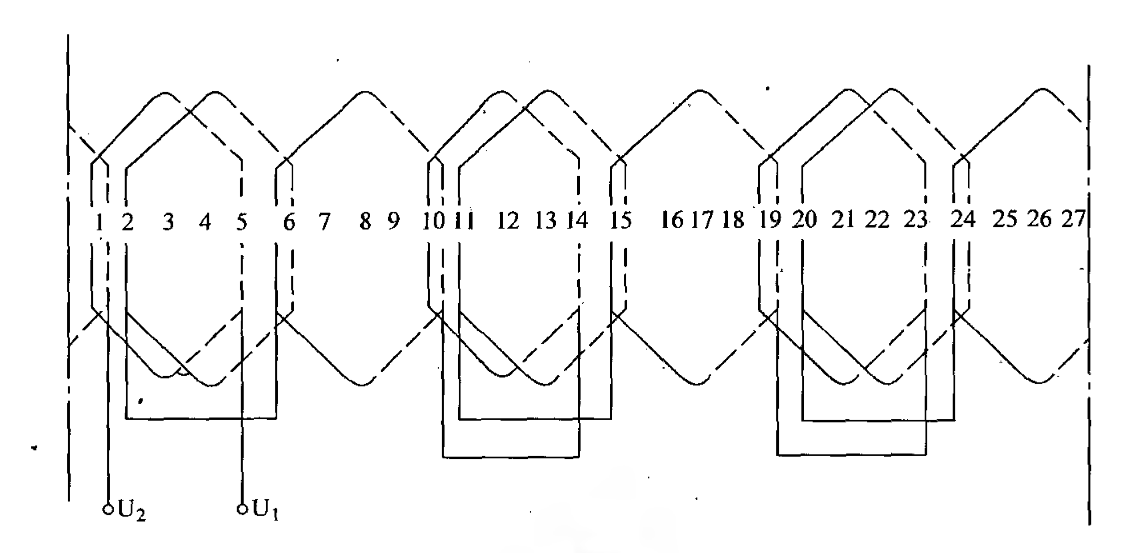


图 2-19　6 极 27 分数槽绕组展开图（U 相）

表 2-14。

表 2-14　常见分数槽绕组的极相组排列

c/d 的值	极相组的循环（排列）
$B\frac{1}{2}$	B、(B+1)；B、(B+1)；B、(B+1) 等
$B\frac{1}{4}$	B、B、B、(B+1)；B、B、B、(B+1) 或 B、B、(B+1)、B；B、B、(B+1)、B 或 B、(B+1)、B、B；B、(B+1)、B、B 等
$B\frac{3}{4}$	B、(B+1)、(B+1)、(B+1)；B、(B+1)、(B+1)、(B+1) 等
$B\frac{1}{5}$	B、B、B、B、(B+1)；B、B、B、B、(B+1) 或 B、B、(B+1)、B、B；B、B、(B+1)、B、B 等
$B\frac{2}{5}$	(B+1)、(B+1)、B、B、B；(B+1)、(B+1)、B、B、B 或 (B+1)、B、(B+1)、B、B；(B+1)、B、(B+1)、B、B 等
$B\frac{3}{5}$	B、B、(B+1)、(B+1)、(B+1)；B、B、(B+1)、(B+1)、(B+1) 或 B、(B+1)、B、(B+1)、(B+1)；B、(B+1)、B、(B+1)、(B+1) 等
$B\frac{1}{7}$	B、B、B、B、B、B、(B+1)；B、B、B、B、B、B、(B+1) 等
$B\frac{2}{7}$	(B+1)；B、B、(B+1)、B、B、B 等
$B\frac{4}{5}$	B、(B+1)、(B+1)、(B+1)、(B+1)；B、(B+1)、(B+1)、(B+1)、(B+1) 等
$B\frac{3}{7}$	(B+1)、B、(B+1)、B、(B+1)、B、B 等
$B\frac{5}{7}$	B、(B+1)、(B+1)、B、(B+1)、(B+1)、(B+1) 等

3）绕组的嵌放和接线：分数槽绕组亦属于双层叠绕组，所以嵌放的方法除注意排列顺序外，其他均和整数槽绕组相同，其接线也一样，但要注意在接多路时一定要考虑各支路的平衡。

【例 2-11】 试绕制嵌放 4 极 27 槽电动机的定子绕组。

解：

（1）检验

$q=\dfrac{Q}{2pm}=\dfrac{27}{4\times3}=2\dfrac{1}{4}$，属分数槽，极对数 2 和槽数 27 最大公约数 $t=1$。

则：$\dfrac{Q}{3t}=\dfrac{27}{3\times1}=9$ 是整数，能嵌放三相对称绕组。

（2）绕组的排列配置

因为 $q=2\dfrac{1}{4}$，即 $B=2$，$c=1$，$d=4$。各极相组分别由 2 个与 2＋1＝3 个线圈组成，且 4 个极相组为一循环。每次循环中有 1 个极相组含 3 个线圈，3 个极相组含 2 个线圈，共有 $2pm=4\times3=12$ 个极相组，查表 2-11，排列顺序见表 2-15。

表 2-15　4 极 27 槽电动机绕组排列

N			S			N			S		
U	W	V	U	W	V	U	W	V	U	W	V
2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2	3

（3）绕组的嵌放和接线

绕组按双层叠绕组嵌放和接线，其中：

$$y=\frac{Q}{2p}\mp\varepsilon_0=\frac{27}{4}-\frac{3}{4}=6\ (1\sim7)$$

其嵌放和接线如图 2-20（绕组展开图）和图 2-21（圆形简化接线图）所示。

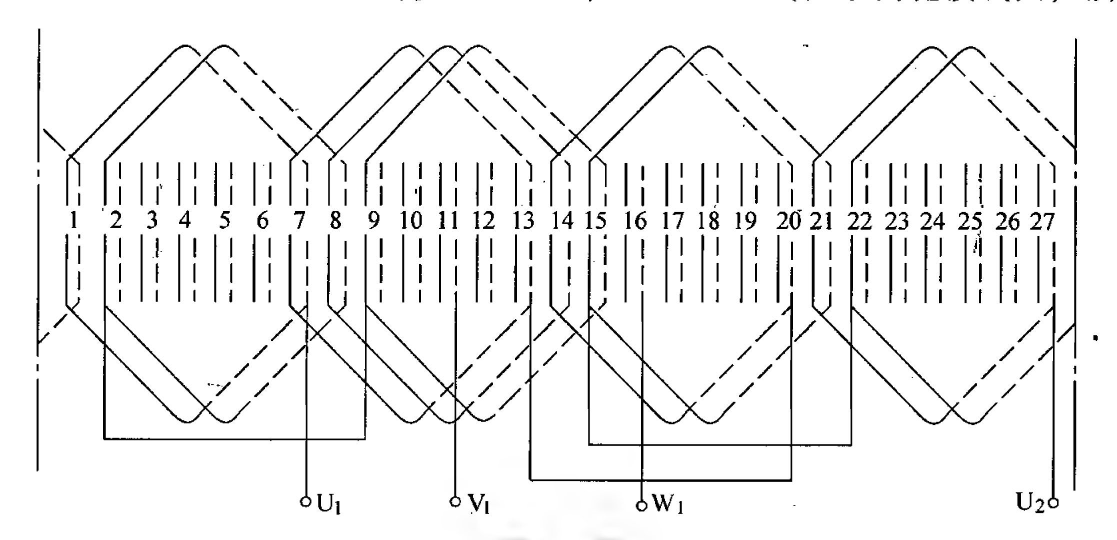


图 2-20　4 极 27 槽分数槽绕组 U 相展开图

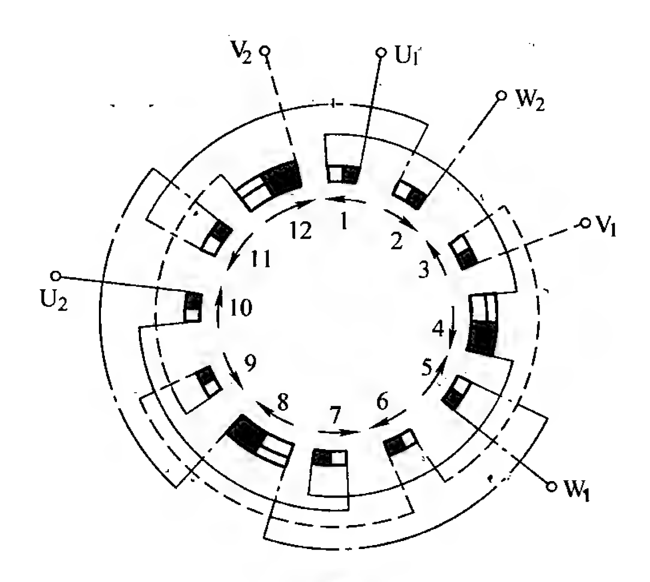


图 2-21　4 极 27 分数槽绕组圆形简化接线图

第五节　特殊形式绕组的嵌放

前面介绍的几种单层绕组以及两种双层叠绕组均属三相异步电动机定子中常用的绕组形式。本节再介绍三种在特殊情况下采用的改进型三相绕组。

一、单双层绕组的嵌放

单双层绕组是在双层短距叠绕组的基础上演变过来的。双层叠绕组当采用短距后，使一些槽内的上、下层导体不属同一相，但仍有一些槽内的上、下层导体同属一相。若将槽内同属一相的上、下层有效边合并成一个单层大线圈，而同槽不同相的上、下层有效边仍保持原样不变，这样就构成了单双层混合绕组。

【例 2-12】　一台 2 极 18 槽双层短距绕组。图 2-22a 是双层短距绕组中的 U 相原来分布情况。若保持原来的电磁性能不变，可把同属 U 相的 1、2 槽及 10、

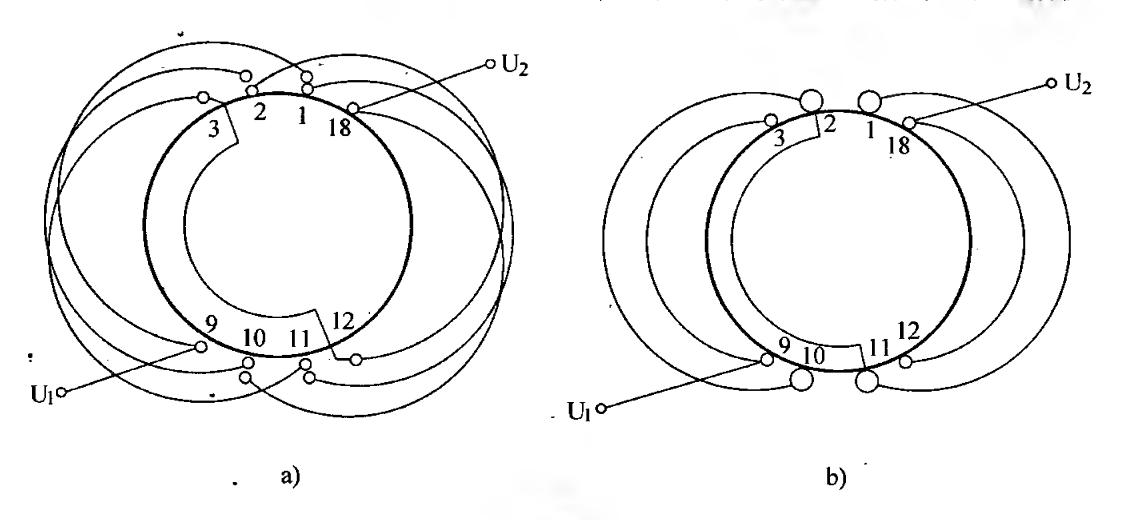


图 2-22　2 极 18 槽 U 相绕组端视图
a）双层短距绕组（U 相）　b）单双层绕组（U 相）

11 槽的上、下层边合并在一起，而使 3、9 槽及 12、18 槽的上、下层边保持原样不变，则端面结构变成了同心线圈式的单双层绕组，如图 2-22b 所示。

可见，单双层绕组每相由一个或多个外面为单层的大线圈，里面为双层小线圈的线圈组构成。相邻大线圈在端部也不互相交叉，排列起来方便。另外改后的部分单层绕组也省掉了槽中的层间绝缘，节约了材料。故在实际中单双层绕组得到应用。图 2-23 是这台电动机三相绕组的展开图，图 2-24 是其端视图。

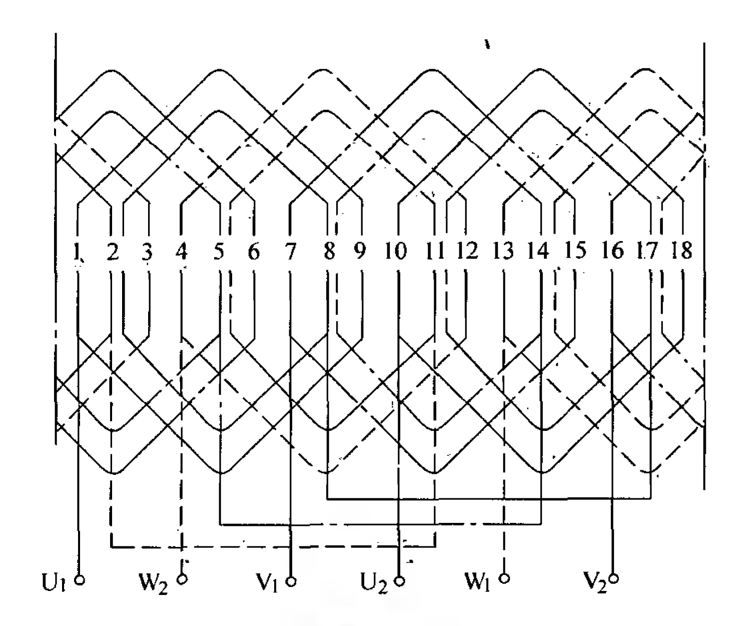


图 2-23　2 极 18 槽单双层绕组展开图

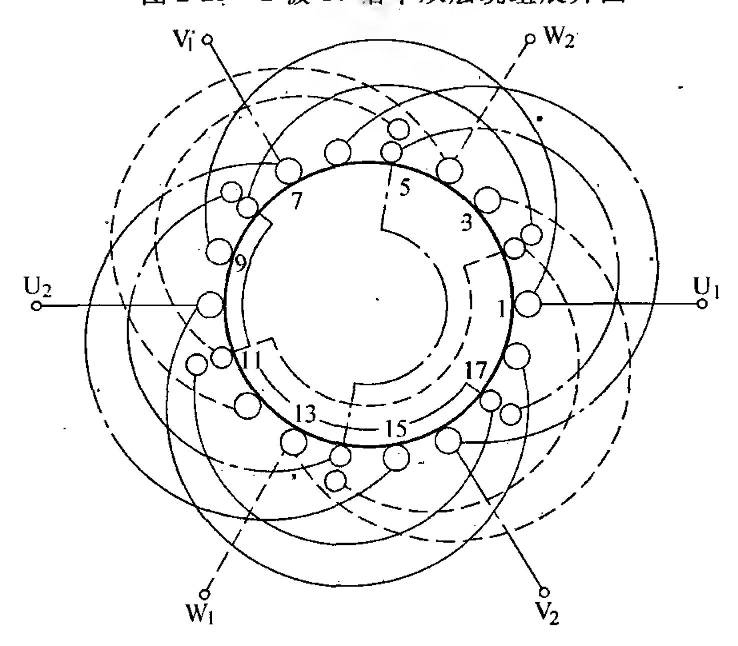


图 2-24　单双层绕组端视图

单双层绕组的极相组由同心线圈组成，大线圈是单层，小线圈是双层，两者不仅大小不同，且匝数也不相等，在绕制时一定要注意，嵌放方法基本上还是用交叠法，即嵌入 2 槽，退空 1 槽，后再嵌放 2 槽，吊边数为 4，嵌放顺序见表 2-16。同相的极相组之间仍为“首-首”或“尾-尾”相串联。

表 2-16　交叠法嵌放 2 极 18 槽单双层绕组顺序

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下层	2	1	17	16	14		13		11		10	
	上层						2		3		17		18
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	下层	8		7		5		4					
	上层		14		15		11		12	12	6	8	9

二、混相（散布）绕组的嵌放

从前面整数槽双层叠绕组的分布可以看到，每个极下三相绕组各占 1/3 槽数。若按电角度计为60°，故称60°相带绕组。若将60°相带绕组各相邻相带的相邻两槽线圈互相交换，即称为混相绕组，又称散布绕组。

混相绕组有利于改善磁场波形，对电动机性能可以改善，但是对各相基波分布系数降低，q 值越小，分布系数降低越多，所以这种绕组多在 q 值较大的大、中型电动机中采用。

表2-17为2极24槽60°相带绕组与混相绕组的排列对照表。其绕组展开图及端视图如图2-25和图2-26所示。

表2-17　2极24槽（$q=4$）60°相带绕组与混相绕组排列对照表

槽　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
60°相带绕组	U	U	U	U	-W	-W	-W	-W	V	V	V	V
混相绕组	-V	U	U	-W	U	-W	-W	V	-W	V	V	-U
槽　号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
60°相带绕组	-U	-U	-U	-U	W	W	W	W	-V	-V	-V	-V
混相绕组	V	-U	-U	W	-U	W	W	-V	W	-V	-V	U

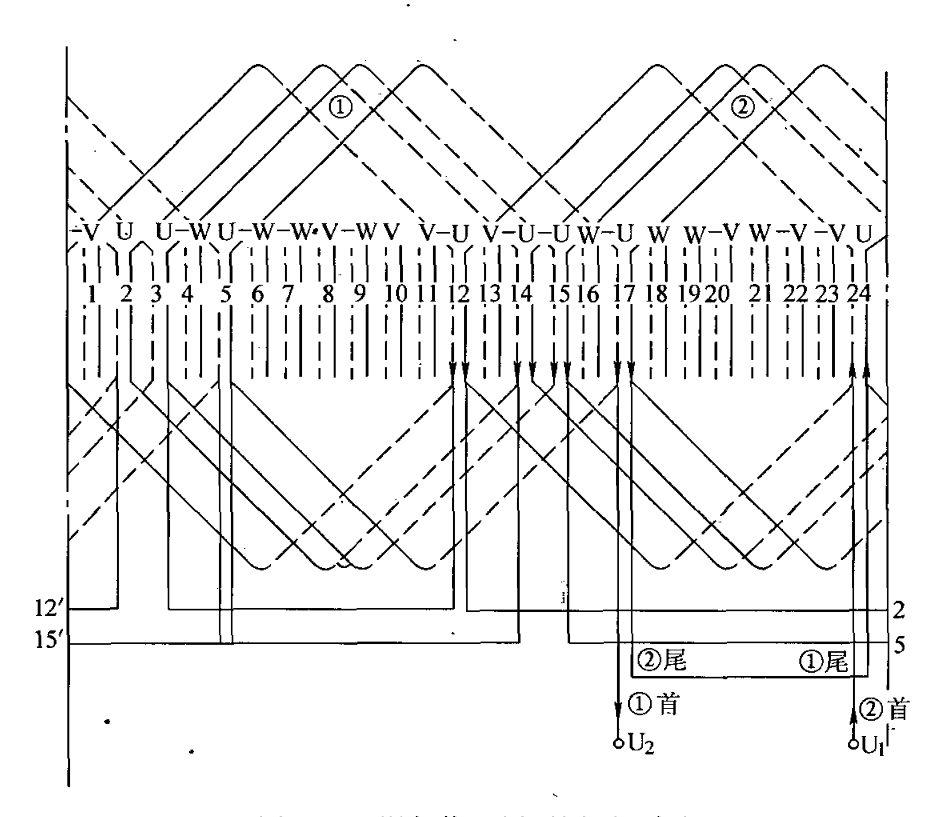


图2-25　混相绕组展开图（U相）

注：1. 每相分两大组①和②，每组的4个线圈为顺向串联，即“首-尾”相连。

2. 两大组之间为反向串联，即“尾-尾”相连或“首-首”相连。

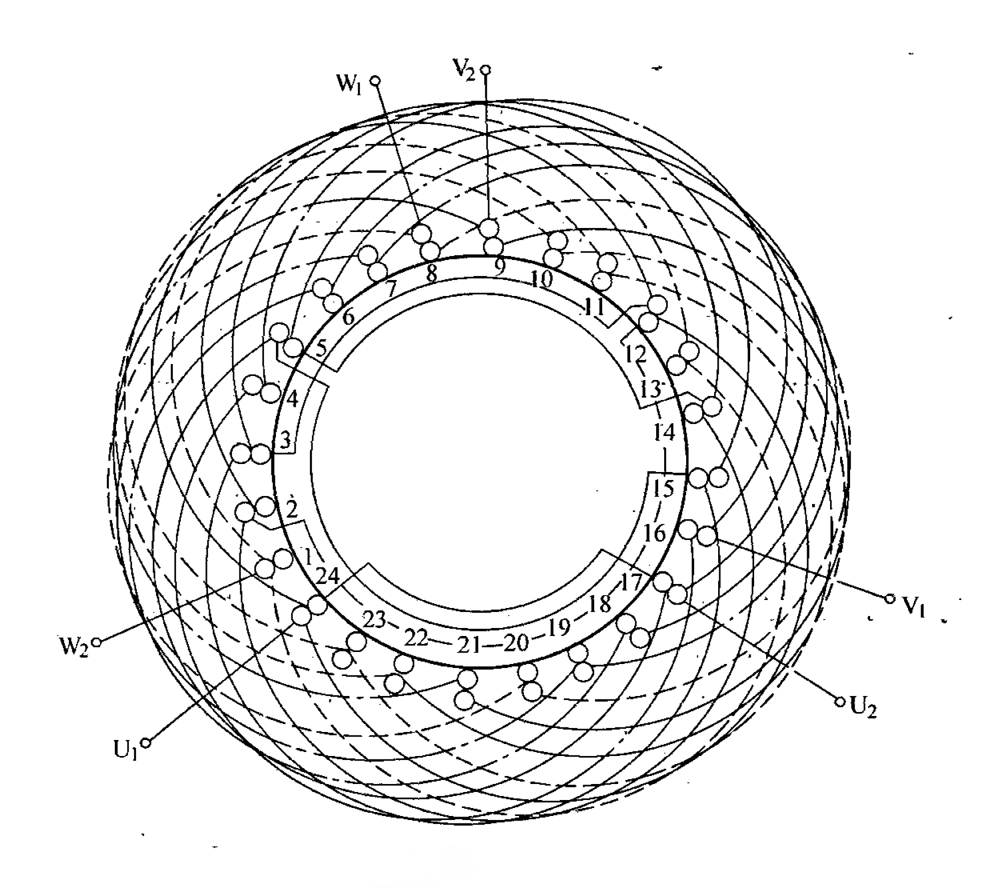


图 2-26　2 极 24 槽混相绕组端视图（U 相）

嵌放工艺要点：

1）选绕线模（$y=1\sim13$），2 个线圈连绕为 1 组者共绕 6 组（称甲组），1 个线圈为 1 组者共绕 12 组（乙组）。

2）采用交叠法。先嵌放 2 个乙组线圈下层边，再嵌甲组连绕线圈的 2 个下层边，再嵌 2 个乙组线圈的下层边，再嵌甲组连绕线圈的两个下层边……吊起 12 个上层边，待 13 个下层边嵌完后，将线圈 13 的上层边嵌放于开始的槽中。具体嵌放顺序见表 2-18。

表 2-18　2 极 24 槽混相绕组嵌放顺序表

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下层	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	上层												
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	下层	12		13		14		15		16		17	
	上层		24		1		2		3		4		5

（续）

嵌放顺序		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层	18		19		20		21		22		23	
	上层		6		7		8		9		10		11
嵌放顺序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
槽号	下层												
	上层	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

3）接线方法：

① 每相分两大组（见图 2-25），每组的 4 个线圈（一个甲组和左右两个乙组）为顺向串联（即首尾相连）。

② 每相两大组之间为反向串联，即“尾-尾”相连或“首-首”相连。

其圆形简化接线图如图 2-27 所示。

三、Y-△混合绕组（30°相带绕组）**的嵌放**

对于 q 为偶数的 60°相带双层叠绕组，若使每个相带内 q 个槽划分为 q_Y 和 $q_\triangle$ 两个相等的部分，各自为一相带，在空间各自占 30°电角度。把所有 q_Y 线圈按星形连接，所有 $q_\triangle$ 的线圈按三角形连接，然后以串联或并联方法将这两套绕组连接起来，即成为Y-△混合绕组，或称 30°相带绕组。

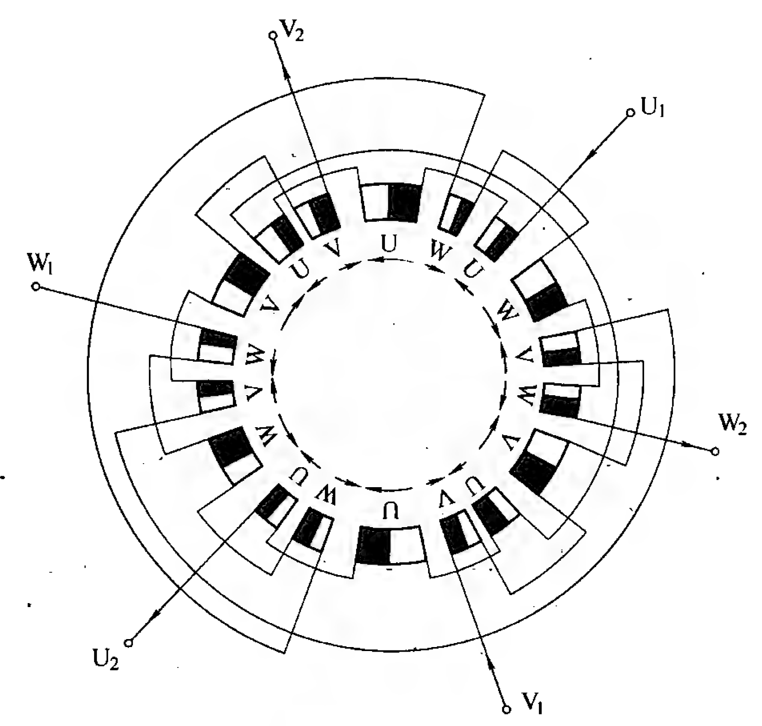


图 2-27　2 极 24 槽混相绕组圆形简化接线图

与 60°相带绕组相比，这种绕组的优点在于可进一步削弱高次谐波，并且提高了基波的分布系数，有利于改善电动机的性能。

嵌放这种绕组，对绕组分布的对称性及接线的正确性有很严格的要求，否则会有不良副作用。

【例 2-13】　仍然以 $Q=24$，$2p=2$ 的电动机定子双层绕组为例。其 $q=Q/(2pm)=24/(2\times3)=4$，为偶数，可将 q 分为相等的两部分，组成Y-△混合绕组。表 2-19 为 60°相带绕组和Y-△混合绕组的排列对照表（以下层边所占的

表 2-19　60°相带绕组和Y-△混合绕组的排列对照表

槽　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
60°相带绕组	U	U	U	U	-W	-W	-W	-W	V	V	V	V
混相绕Y-△组	U_Δ	U_Δ	U_Y	U_Y	$-W_\Delta$	$-W_\Delta$	$-W_Y$	$-W_Y$	V_Δ	V_Δ	V_Y	V_Y
槽　号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
60°相带绕组	-U	-U	-U	-U	W	W	W	W	-V	-V	-V	-V
混相绕Y-△组	$-U_\Delta$	$-U_\Delta$	$-U_Y$	$-U_Y$	W_Δ	W_Δ	W_Y	W_Y	$-V_\Delta$	$-V_\Delta$	$-V_Y$	$-V_Y$

注：$Q=24$，$2p=2$，$q=4$。

槽所计），图 2-28 为Y-△混合绕组的连接示意图。

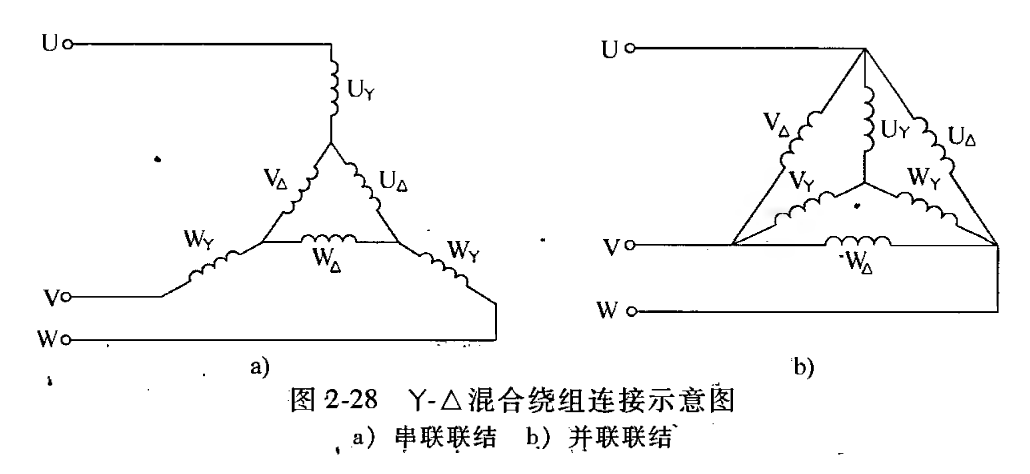


图 2-28　Y-△混合绕组连接示意图

a）串联联结　b）并联联结

若取绕组线圈的节距 $y=11$（1～12），图 2-29 为此种电动机的绕组展开图，图 2-30 为该电动机圆形简化接线图。

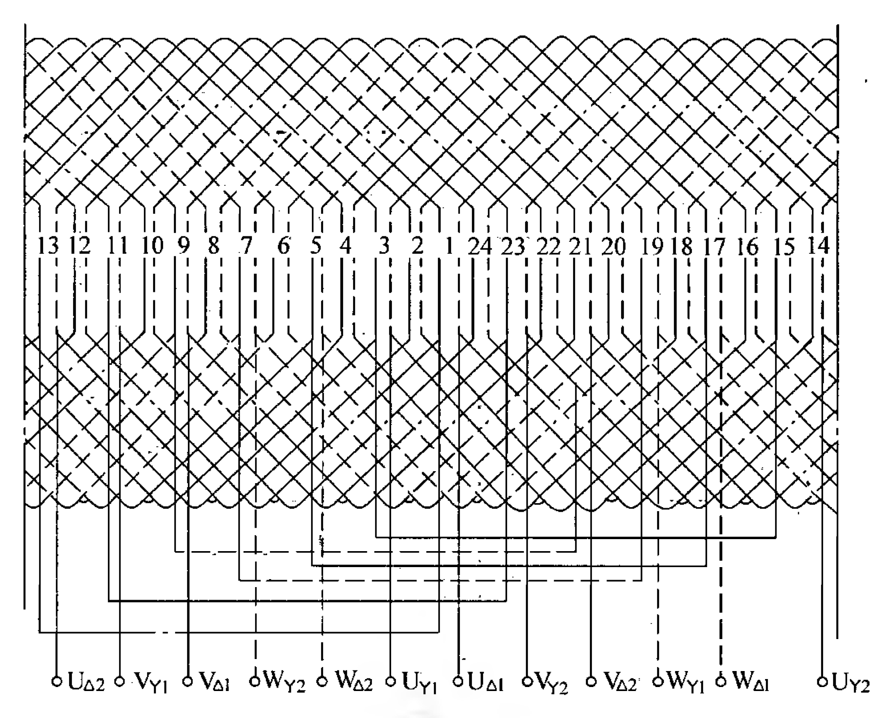


图 2-29　2 极 24 槽Y-△混合绕组展开图

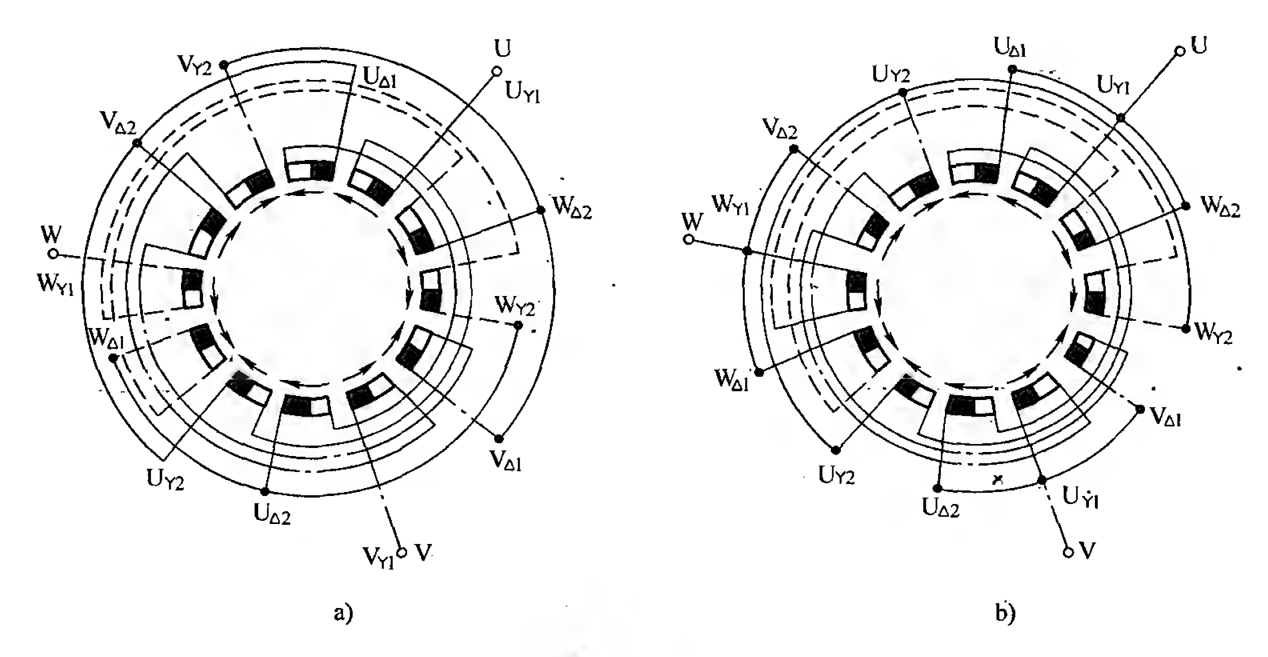


图 2-30　2 极 24 槽混合绕组圆形简化接线图

a）串联接法　b）并联接法

嵌放工艺要点：

1）选好绕线模（$y=1\sim12$），每两个线圈一组，共绕 12 个极相组。

2）采用交叠法，先嵌放下层边，吊起 11 个上层边，到嵌放完第 12 个下层边后，将第 12 个线圈的上层边放到第 1 个槽中，具体嵌放顺序见表 2-20。

3）分出△联结和Y联结的极相组，每相分别按“首-首”或“尾-尾”串联成两大组。再将两组分别接为△联结和Y联结。

4）再按照图 2-30，接为串联或并联的形式。

表 2-20　2 极 24 槽Y-△混合绕组嵌放顺序表

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下层	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	上层												
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	下层		13		14		15		16		17		18
	上层	1		2		3		4		5		6	
嵌放顺序		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层		19		20		21		22		23		24
	上层	7		8		9		10		11		12	
嵌放顺序		37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
槽号	下层												
	上层	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

第六节　三相电容电动机定子绕组的嵌放

近年来，工程技术人员对原有电动机进行了多方面的改进，使三相异步电动机向着体积小、功率大、效率高、性能更好的方向发展。其中，三相电容式电动机就是其中一例，这种电动机是在原来普通三相电动机的基础上对定子绕组进行改造。改造后的定子上放置两套三相对称绕组。其中一套三相绕组为主绕组（用下标 m 表示），另一套三相绕组为副绕组（用下标 c 表示）。两套绕组在空间彼此分别相互差 90°电度角，且副绕组每相外串一个适当电容器后，和主绕组并联工作。图 2-31 是其定子绕组连接示意图。

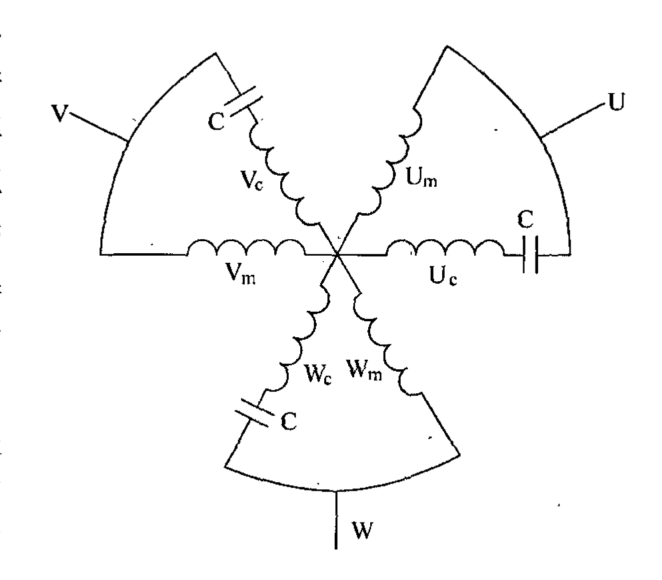


图 2-31　三相电容式电动机定子绕组连接示意图

通过对这种电动机的样机理论分析、计算和性能测试，三相电容式电动机有如下几个优点：

1）能够大大提高电动机的功率因数，在额定负载时可以达到 1。

2）若选择合理的绕组节距，每极每相槽数及绕组形式可以使谐波磁势得到最大限度的降低，电动机性能得到改善，效率提高。

3）起动时，串联不同值的电容器，可改变起动转矩的大小。这种电动机尤其在中、小低速风机和泵类负载中更适用。

三相电容式电动机的定子绕组分布和嵌绕特点主要是：每相的主、副绕组在空间互差 90°电度角；三相主或副绕组完全相同，相间在空间互差 120°电度角。

现举例说明这种绕组的分布接线规律。

【例 2-14】　一台 Y802-4 型普通电动机，重绕为三相电容式电动机，其定子槽 $Q=24$，$2p=4$。

定子绕组采用了两种嵌放方案，这两种方案的绕组形式、导线匝数、线径都不相同。

第一种，取 $q=1$，这样整体上就采用了单层链式绕组，为庶极接法。图 2-32a为一相绕组的展开图。图 2-32b 为三相绕组展开图。

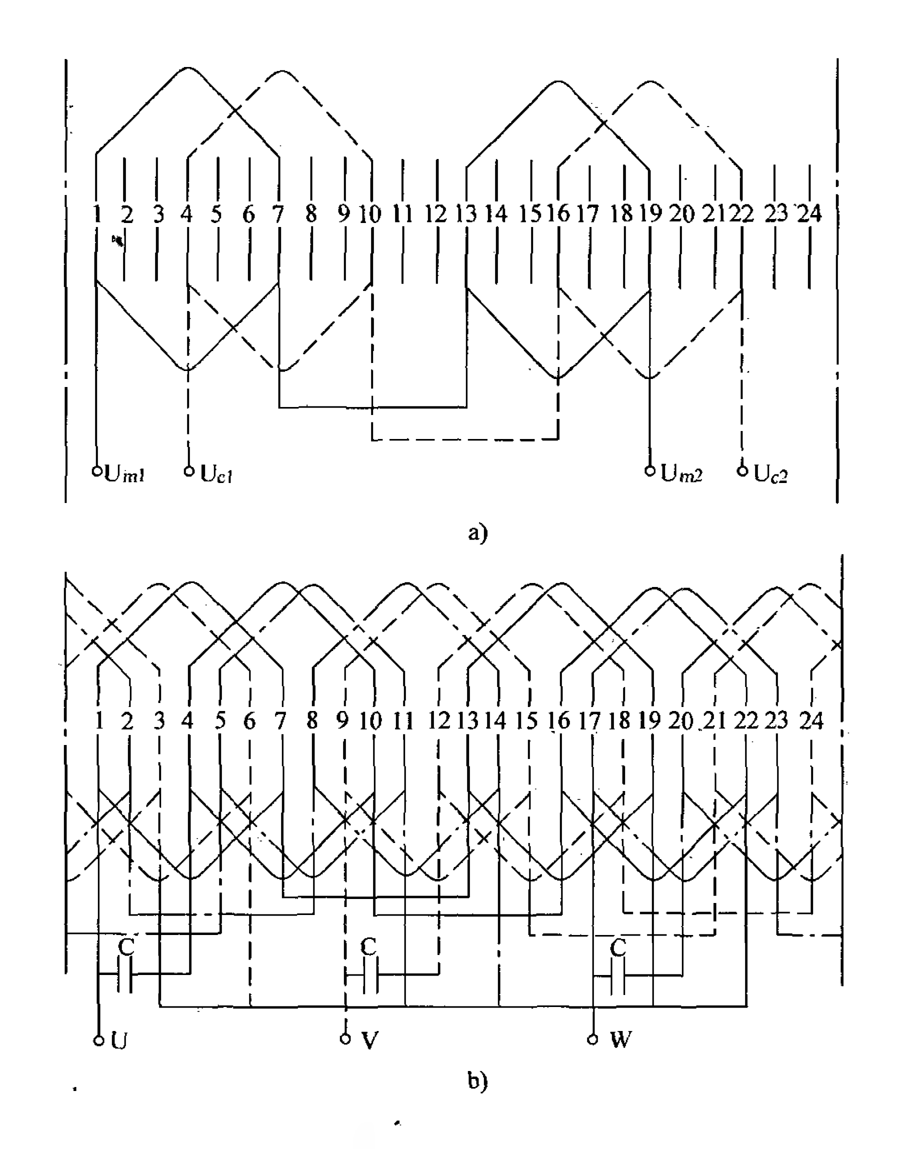


图 2-32　三相电容式绕组展开图（一）
a）U 相主、副绕组展开图　b）三相绕组展开图

嵌放工艺要点：

1）选绕线模（取 $y=\tau=6$（1～7）），线圈节距大小都相同，每个线圈为一个极相组，主、副绕组各绕 6 组（主、副绕组线圈的线径、匝数均不同）。

2）用交叠法嵌放绕组：先嵌放 1 个副绕组线圈的沉边于槽 6 内，再嵌放 1 个主绕组线圈的沉边于第 7 个槽中，退空 2 槽，再嵌放副绕组沉边，并将其浮边也嵌入槽中（$y=1\sim7$），再嵌放主绕组的沉边和浮边，退空 2 槽，吊起 2 个浮边……，嵌放顺序见表 2-21。

3）为保证每相的主、副绕组互差 90°，先找出各相主、副绕组位置（互差 3 个槽（1～4）），且各相出线端位置互差 240°（1～9），各相主、副绕组并联后为Y联结，如图 2-32b 所示。

第二种，主、副绕组均取 $q=2$，三相主绕组和三相副绕组分别为链式绕组，

表 2-21　单层链式绕组嵌放顺序表

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	沉边	副 6	主 7	副 10		主 11		副 14		主 15		副 18	
	浮边				副 4		主 5		副 18		主 9		副 12
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	下层	主 19		副 22		主 23		副 2		主 3			
	上层		主 13		副 16		主 17		副 20		主 21	副 24	主 1

但主、副绕组在同一槽内，分上、下层，副绕组嵌放在下层，主绕组嵌放在上层。图 2-33a 是这种绕组的一相绕组（主、副）的展开图。图 2-33b 是三相绕组的展开图，为显极接法。

嵌放工艺要点：

1）选好绕线模，分别绕制 12 个主绕组线圈和 12 个副绕组线圈（主、副绕

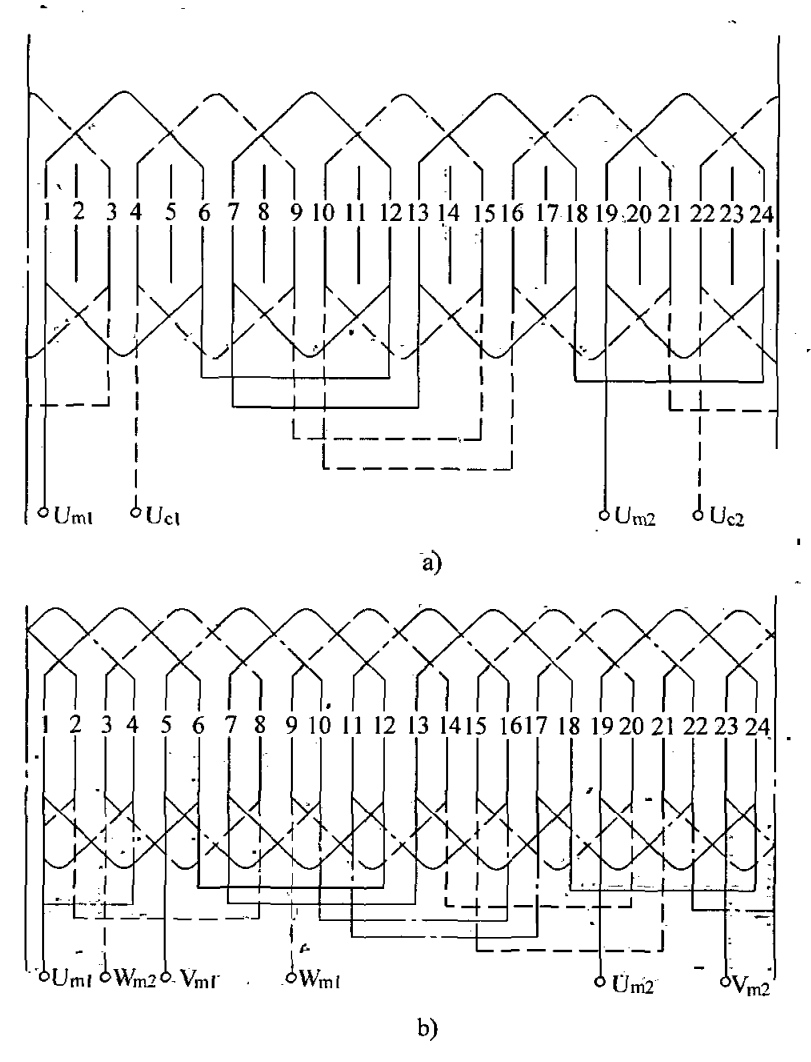
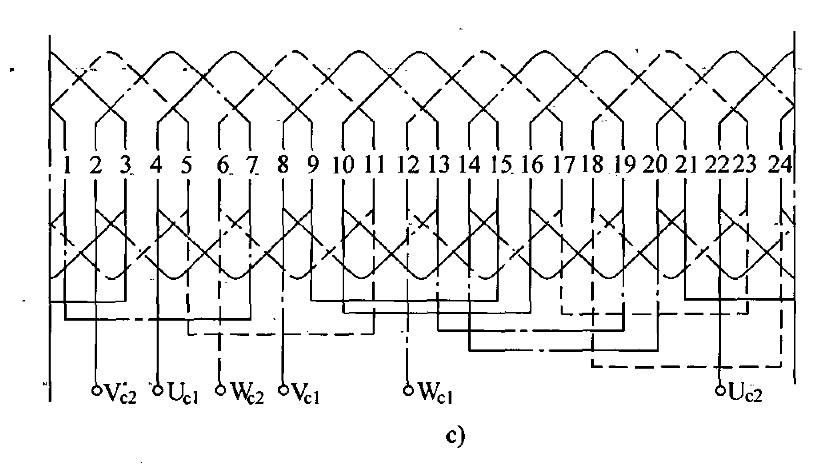


图 2-33　三相电容式绕组展开图（二）
a）U 相绕组展开图　b）三相主绕组展开图



c)

图 2-33　三相电容式绕组展开图（二）（续）
c）三相副绕组展开图

组线圈的大小相同，但匝数、线径不同）。

2）主、副绕组均为链式绕组，嵌放采用交叠式（和前面单层链式绕组嵌法相同）。注意，先在下层嵌放副绕组，加层间绝缘后，再在上层嵌放主绕组，且两种绕组的对应边一定要互差 90°电角度（1～4 槽）。

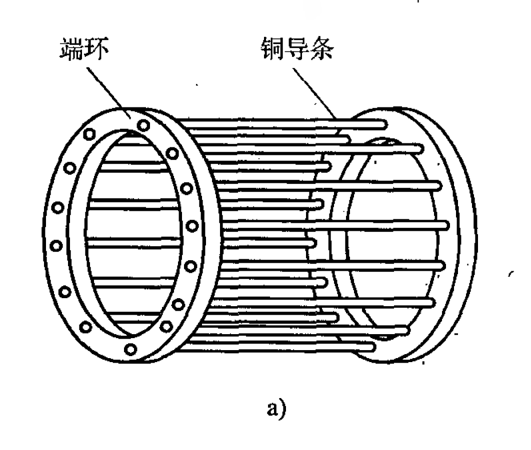
3）分别按“首-首”或“尾-尾”将各相主、副绕组分别串联连接，如图 2-33所示。主、副绕组分别有 6 个出线端（3 个首端，3 个末端），待在出线盒外端串电容后，再将主、副绕组并联连接。

第七节　三相异步电动机转子绕组的嵌放

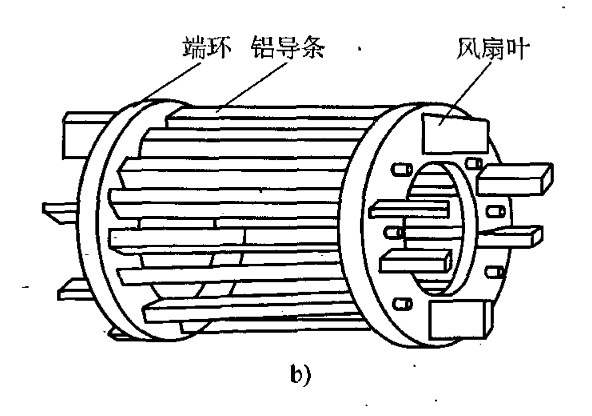
三相异步电动机的转子绕组有两种形式：笼型绕组和绕线式绕组。

一、笼型绕组

转子的每个槽中只有一根导体（铜或铝条），由两端的端环将各槽导体短接成闭合回路，形如鼠笼，故称笼型绕组，如图 2-34 所示。



a)



b)

图 2-34　笼型绕组
a）铜笼　b）铝笼

现在，中、小型电动机大多采用浇铸铝水，铸在转子铁心槽内，和两端环成为一体，又称铸铝转子绕组。

笼型绕组结构简单，经久耐用，且形成的磁极数自动地和定子磁极数相同，所以得到广泛采用。

对笼型绕组主要有以下几点要求：

1）转子槽数和定子槽数及电动机的极数之间必须有一定的配合关系。配合不好，会出现由谐波造成的振动、噪声及起动性能不良等现象，严重时电动机甚至不能起动。表2-22是笼形电动机定、转子槽数配合的推荐值。

表2-22　笼型电动机定子、转子槽数配合的推荐值

极数2个	定子槽数	直槽转子槽数	斜槽转子槽数
2	18	—	16，26
	24	[16]，32	(18)，20，(30)，(31)，33，34，35
	30	22，38	(18)，20，21，23，(24)，37，39，40
	36	26，28，44，46	25，27，29，43，45，47
	42	32，34，50，52	—
	48	38，40，56，58	37，39，41，55，57，59
4	24	[32]	16，[20]，22，30，33，34，35，36
	36	26，(44)，46	(24)，27，(28)，(30)，[32]，45，48
	42	(34)，(50)，52，54	(33)，34，[38]，(51)，53
	48	34，38，56，58，62，64	(36)，(39)，40，[44]，57，59
	60	50，52，68，70，74	48，49，51，56，64，69，71
	72	62，64，80，86	61，63，68，76，81，83
6	36	26，42，[48]	33，47，49，50
	54	44，64，66，68	42，43，65，67
	72	56，58，62，82，84，86，88	57，59，60，61，83，85，87
	90	74，76，78，80，100，102，104	75，77，79，101，103，105
8	48	34，62，[64]	35，44，46，61，63，65
	54	—	58，62
	72	58，86，88，90	56，57，59，85，87，89
	84	66，(68)，70，98，100，102，104	(68)，(69)，(71)，(97)，(99)，101
	96	78，82，110，112，114	79，80，81，83，109，111，113

注：带小括号者为非优配合，带中括号者为慎用。

2）铸出的笼型绕组不能有气孔缺陷和断条。

3）制成的笼型绕组导条和端环质量密度一定要紧密和均匀，且在动态时

（高速旋转状态下）保持机械平衡。

二、绕线式绕组

和笼型电动机比较，绕线式电动机虽然结构复杂，但大大改善了电动机的起动性能和调速性能，所以它在较大功率的电动机和要求起动性能高的电动机中应用较多。

绕线式转子绕组是将电磁（圆或扁形）线绕制成线圈后，按一定规律嵌放在转子槽内，出线端接在三个集电环上，经过电刷和集电环的接触引出。绕组经绑扎和浸漆处理后固定在转子铁心内，如图 2-35 所示。

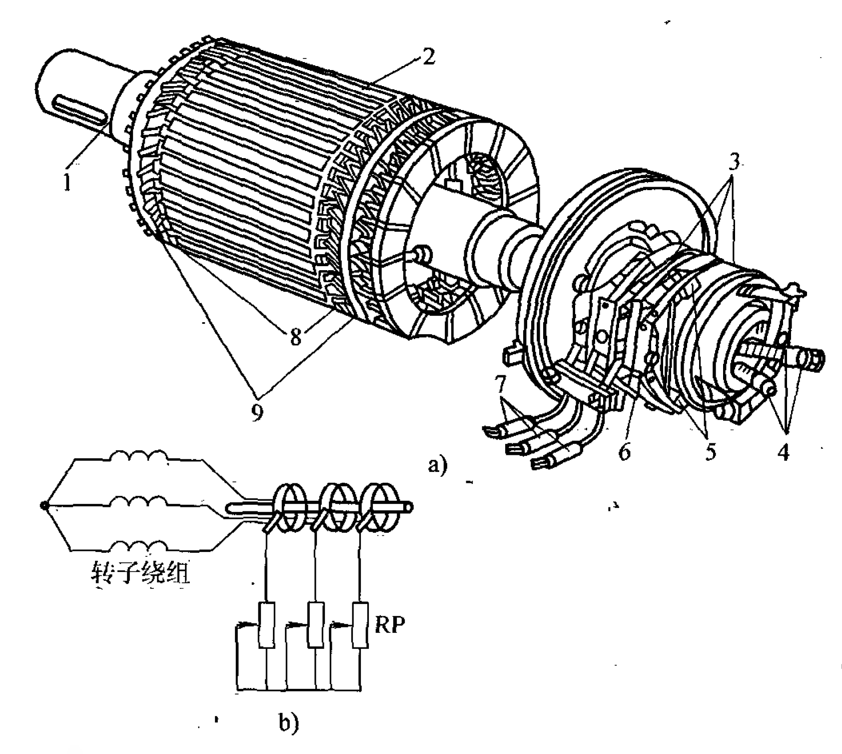


图 2-35 绕线式转子结构

1—转轴 2—转子铁心 3—集电环 4—转子绕组出线头 5—电刷 6—刷架 7—电刷外接线 8—三相转子绕组 9—镀锌钢丝箍

绕组在转子铁心槽内的嵌放主要有以下要求：

1）和三相定子绕组相似，转子上嵌放的三相绕组也要求对称（绕组大小、形状、匝数等三相完全一样，在空间圆周上互差 120°电度角）。

2）三相转子绕组形成的磁极数必须和配套的定子磁极数相同。

3）三相绕组在转子圆周上力求分布均匀，满足机械上的动平衡，对转速较高的电动机，这方面要求更严格。

4）三相绕组不仅要满足电磁对称平衡（互差 120°电度角）的要求，它们的首端（或尾端）的位置也要尽可能均匀分布于转子圆周上（满足机械对称平衡）。

绕线式转子绕组形式可分为两类。小型三相异步电动机转子绕组常用双层叠

式或单层链式，个别采用同心式。绕组的排列、绕制和嵌放方法与同一形式的定子绕组相似。容量较大的三相绕线式异步电动机转子绕组一般采用波形绕组。转子绕组通常接成Y形，三个端点分别接至三个集电环上。

1. 转子单层链式绕组结构

这种绕组形式突出优点是：在转子圆周排列均匀，动平衡较好。绕组的嵌放排列和同一形式的定子绕组相同。主要区别在于出线端（各相首尾端）位置在圆周上力求互差120°机械角度，便于和集电环相连，且保持机械上平衡。

【例 2-15】 $Q=36$，$2p=6$ 的小型电动机转子，采用单层链式绕组。其绕组展开图如图 2-36 所示，端视图如图 2-37 所示。

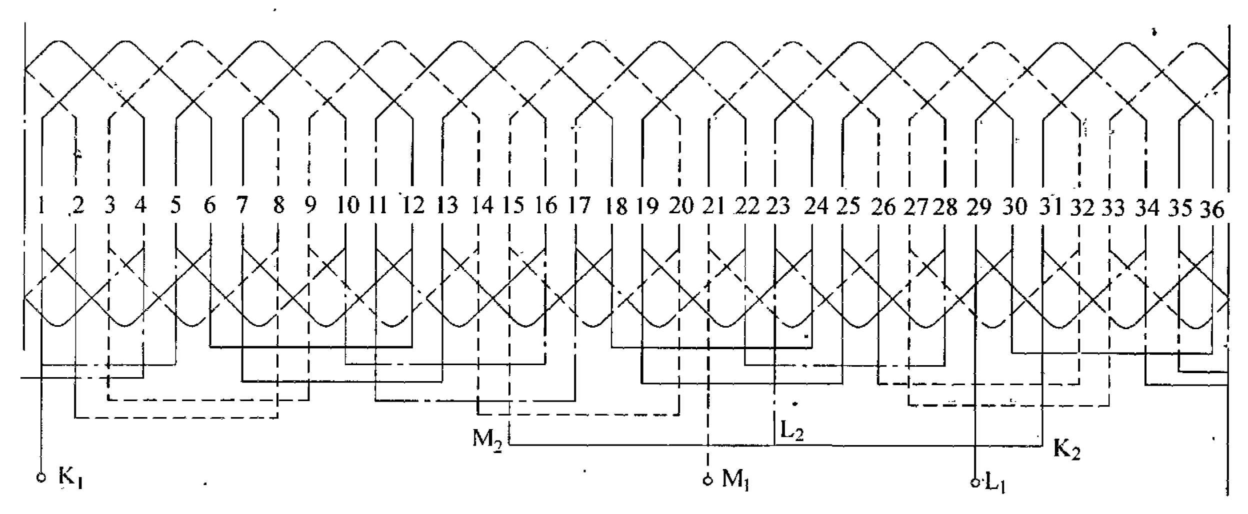


图 2-36 绕线式转子链式绕组展开图

嵌绕工艺要点：

1）取线圈节距 $y=5$（1～6），绕制 18 个相同的极相组，每个极相组含一个线圈。

2）采用交叠法，嵌放 1 槽，退空 1 槽，再嵌 1 槽，吊 2 个边。嵌放顺序见表 3-23，或者先嵌完底边再嵌放浮边。

3）取出线端，若 K_1 从第 1 槽出，L_1 将从 29 槽出，M_1 将从 21 槽出，各相极相组仍为“首-首”、“尾-尾”相串联。

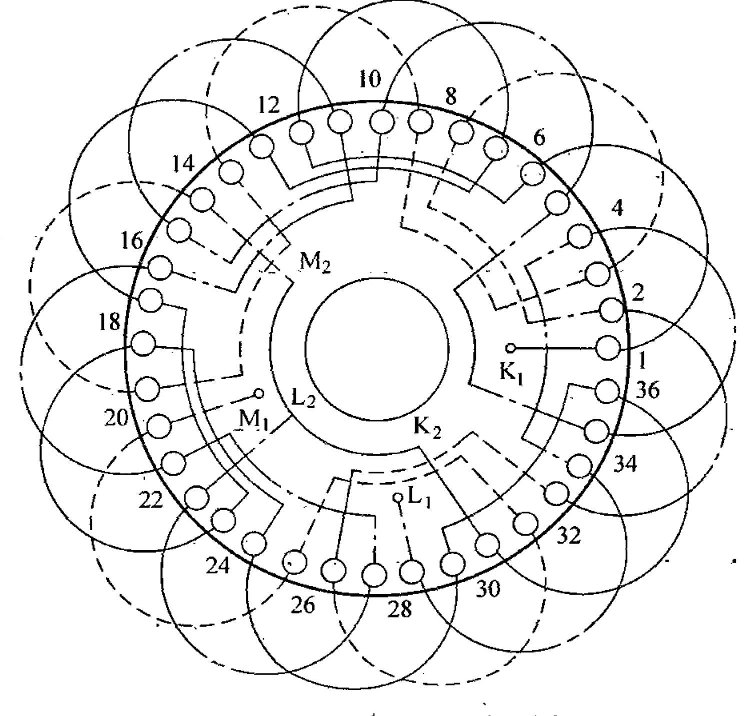


图 2-37 转子链式绕组端视图

2. 转子波形绕组

波绕组是将同一相的线

表 2-23　交叠法 6 极 36 槽单层链式转子绕组嵌放顺序

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	底边	6	8	10		12		14		16		18		20		22		24	
	浮边				5		7		9		11		13		15		17		19
嵌放顺序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	底边	26		28		30		32		34		36		2		4			
	浮边		21		23		25		27		29		31		33		35	1	3

圈在转子槽的嵌放连接后，外形上看，好像波浪一样，故而得名。波绕组应用最广泛的是每个槽里有两根铜条（矩形电磁线）的单匝双层形式，如图 2-38 所示。

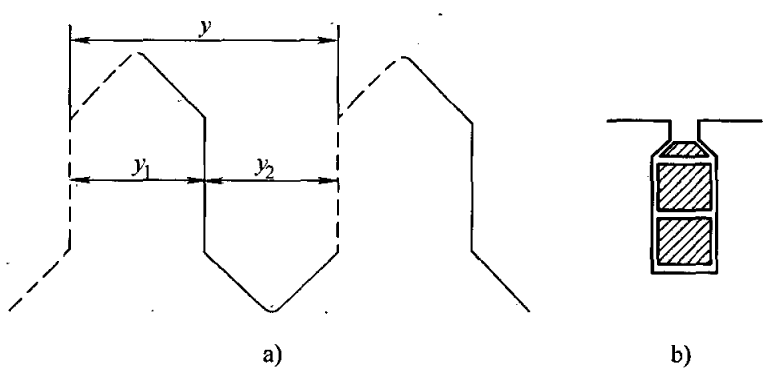


图 2-38　波绕组
a）波绕组排列情况　b）单匝双层形式

双层波绕组的排列特点是：

1）每相两个回路，且两回路的绕向相反，两回路采用串联连接。早期生产的老式电动机是在底层铜条上用导线将两回路连接起来，且三相绕组的六个出线头是放在转子的同一个端部，位置较挤，称甲类波形绕组。乙类波形绕组是改进后的接线方法，是通过某个槽内的单根铜条（该槽只放一根铜条）将两个回路连接起来，这样使三相绕组的三个首端和三个尾端分别位于转子的两端，且每相的首、尾端在同一个槽内。

绕组回路沿转子圆周绕行的周数见表 2-24。

表 2-24　绕组沿转子圆周绕行的周数

每极每相槽数	q = 整数	q = 带 $\frac{1}{2}$ 的分数	
第一回路绕行周数	q	$q_1 = q + \frac{1}{2}$	$q_1 = q - \frac{1}{2}$
第二回路绕行周数	q	$q_2 = q - \frac{1}{2}$	$q_2 = q + \frac{1}{2}$
每一相绕组总绕行周数	$2q$	$2q$	

2）绕组的节距：波绕组的正常节距有 y_1、y_2 及合成节距 $y = y_1 + y_2$，图2-38 所示。除此外，每一回路当绕行一周过渡到下周时，绕组节距必须少一槽，这个节距称过渡短节距 y'_1。波绕组的节距见表 2-25。

表 2-25 转子波绕组的节距

极 矩	τ = 整数	τ = 带$\frac{1}{2}$的分数
正常节距	$y_1=\tau$（槽）	$y_1=\tau+\frac{1}{2}$（槽） $y_2=\tau-\frac{1}{2}$（槽）
过渡节距	$y'_1=y_1-1$（槽）	$y'_1=y_1-1$（槽） $y'_2=y_2-1$（槽）

3）三相首端和尾端的位置：三相波形绕组首尾端的位置，既要使三相绕组在空间互差120°电角度（电磁对称平衡），又要尽可能均匀地分布于转子圆周上（机械平衡），除 $2p/3$ = 整数的（例如6极和12极等）电动机以外，其余电动机转子上均可获得电磁和机械上的对称平衡。转子三相波形绕组的首尾端见表2-26。

表 2-26 转子波绕组首尾端位置（槽号）

极 数		2极，8极	4极，10极	6极，12极
始 端	K_1	1	1	1
	L_1	$1+\frac{1}{3}Q$	$1+\frac{2}{3}Q$	$1+\frac{1}{3}Q+2q$
	M_1	$1+\frac{2}{3}Q$	$1+\frac{1}{3}Q$	$1+\frac{2}{3}Q-2q$
尾 端	K_2	甲类（老式接法）：尾端槽号 = 首端槽号 + 正常节距 乙类：尾端和首端同槽		
	L_2			
	M_2			

注：表中 Q 为转子槽数；q 为转子每极每相槽数。

【例 2-16】 三相4极转子36槽波形绕组的排列。

甲类绕组排列：

1）每极每相槽数：

$$q=\frac{Q}{2pm}=\frac{36}{4\times3}=3\text{ 槽}$$

2）每相沿转子圆周绕行周数：$2q=6$，第一、第二回路各绕行了3周。

3）正常节距：$y_1=\tau=\frac{Q}{2p}=\frac{36}{4}=9$ 槽

4）过渡节距：$y'_1=y_1-1=9-1=8$ 槽

5）首端位置（槽号），由表2-26查得，若：

$K_1=1$ 则：

$$L_1 = 1 + \frac{2}{3}Q = 1 + \frac{2}{3} \times 36 = 25$$

$$M_1 = 1 + \frac{1}{3}Q = 1 + \frac{1}{3} \times 36 = 13$$

6）尾端位置（槽号）：

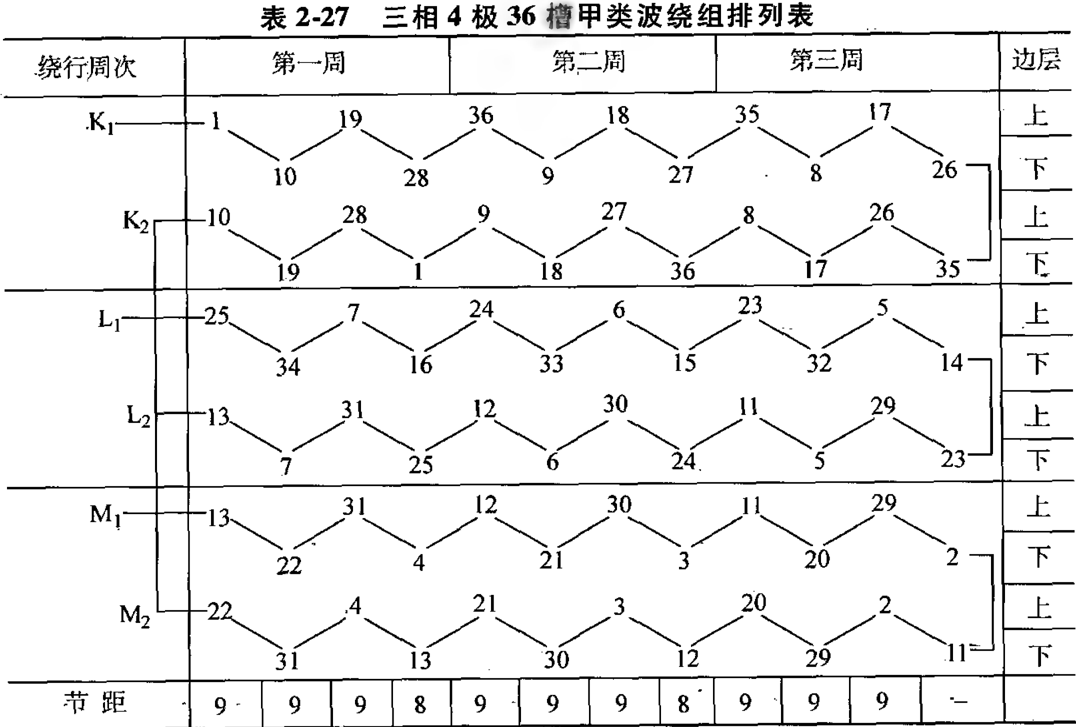
$K_2 = K_1 + y_1 = 1 + 9 = 10$

$L_2 = L_1 + y_1 = 25 + 9 = 34$

$M_2 = M_1 + y_1 = 13 + 9 = 22$

7）排列表见表 2-27。

表 2-27　三相 4 极 36 槽甲类波绕组排列表



绕行周次	第一周				第二周				第三周				边层
K_1	1		19		36		18		35		17		上
		10		28		9		27		8		26	下
K_2	10		28		9		27		8		26		上
		19		1		18		36		17		35	下
L_1	25		7		24		6		23		5		上
		34		16		33		15		32		14	下
L_2	13		31		12		30		11		29		上
		7		25		6		24		5		23	下
M_1	13		31		12		30		11		29		上
		22		4		21		3		20		2	下
M_2	22		4		21		3		20		2		上
		31		13		30		12		29		11	下
节　距	9	9	9	8	9	9	9	8	9	9	9	–	

8）绕组展开图（一相）如图 2-39 所示，绕组端面布线接线图如图 2-40 所示。图 2-41a 和图 2-41b 为绕组嵌放时的摆置图。

乙类绕组排列：

1）每极每相槽数：

$$q = \frac{Q}{2pm} = \frac{36}{4 \times 3} = 3 \text{ 槽}$$

2）每相沿转子圆周绕行周数：$2q = 6$，第一、第二回路各绕行 3 周。

3）正常节距：$y_1 = \tau = \dfrac{Q}{2p} = \dfrac{36}{4} = 9$ 槽

4）过渡节距：$y'_1 = y_1 - 1 = 9 - 1 = 8$ 槽

5）首端位置（槽号），根据表 2-26 查得，若：

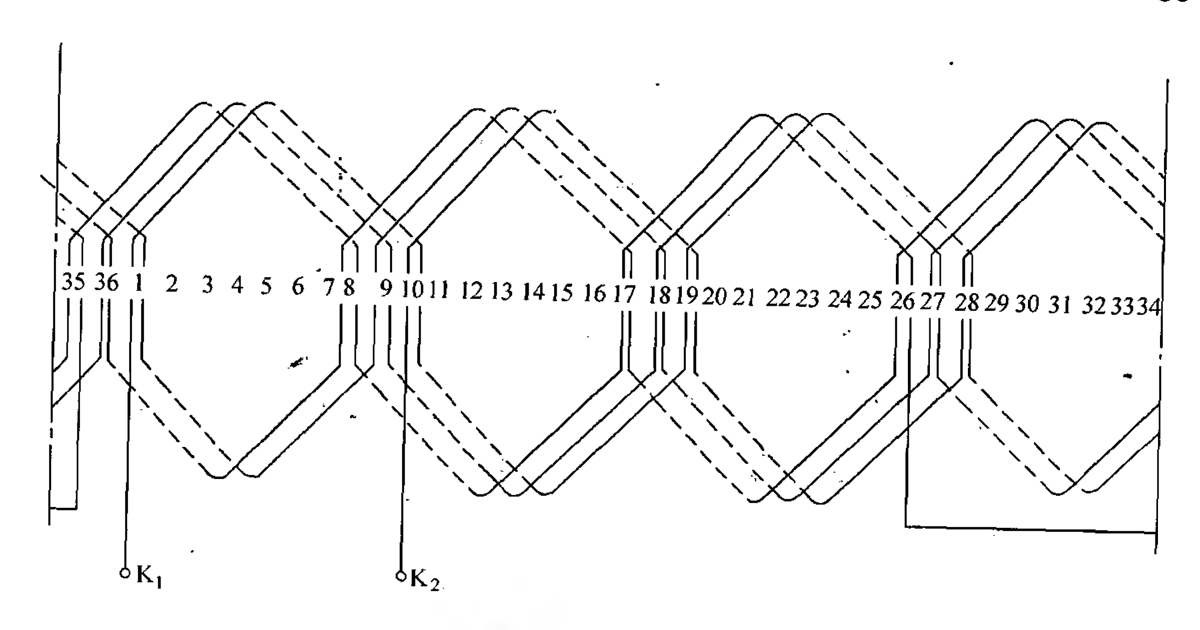


图 2-39　三相 36 槽 4 极波绕组一相展开图（甲类）

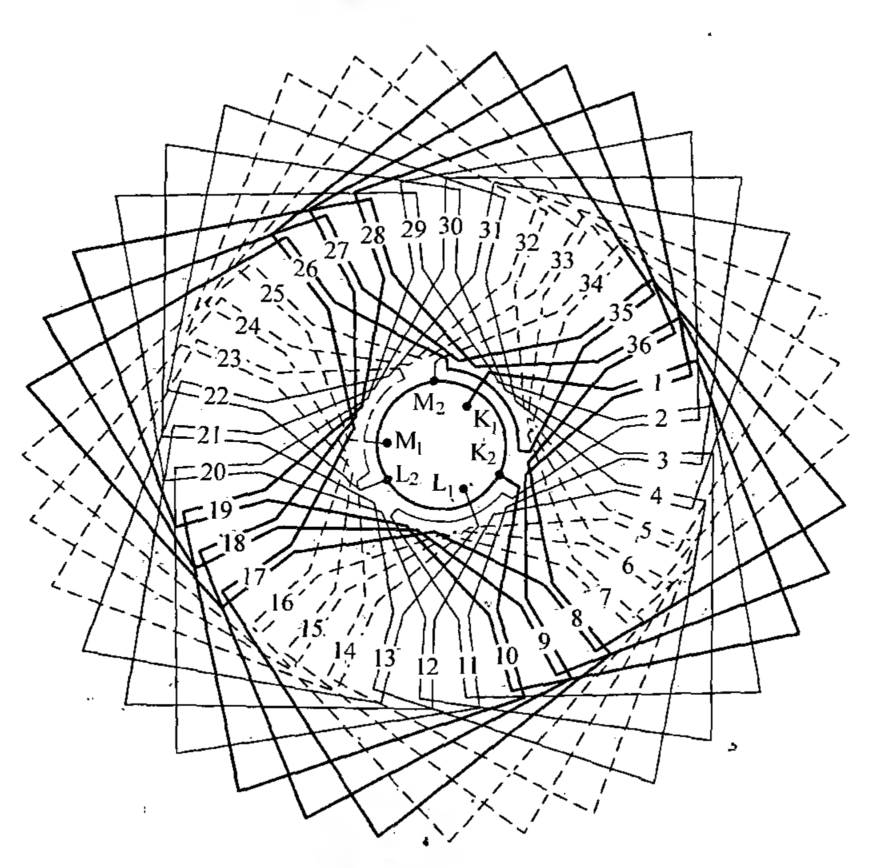


图 2-40　三相 4 极 36 槽甲类波绕组端面布线接线图

注：前节距 $y_1 = 1-10$；后节距 $y_2 = 1-10$；短节距 $y_3 = 1-9$

$K_1 = 1$ 则：

$$L_1 = 1 + \frac{2}{3}Q = 1 + \frac{2}{3} \times 36 = 25$$

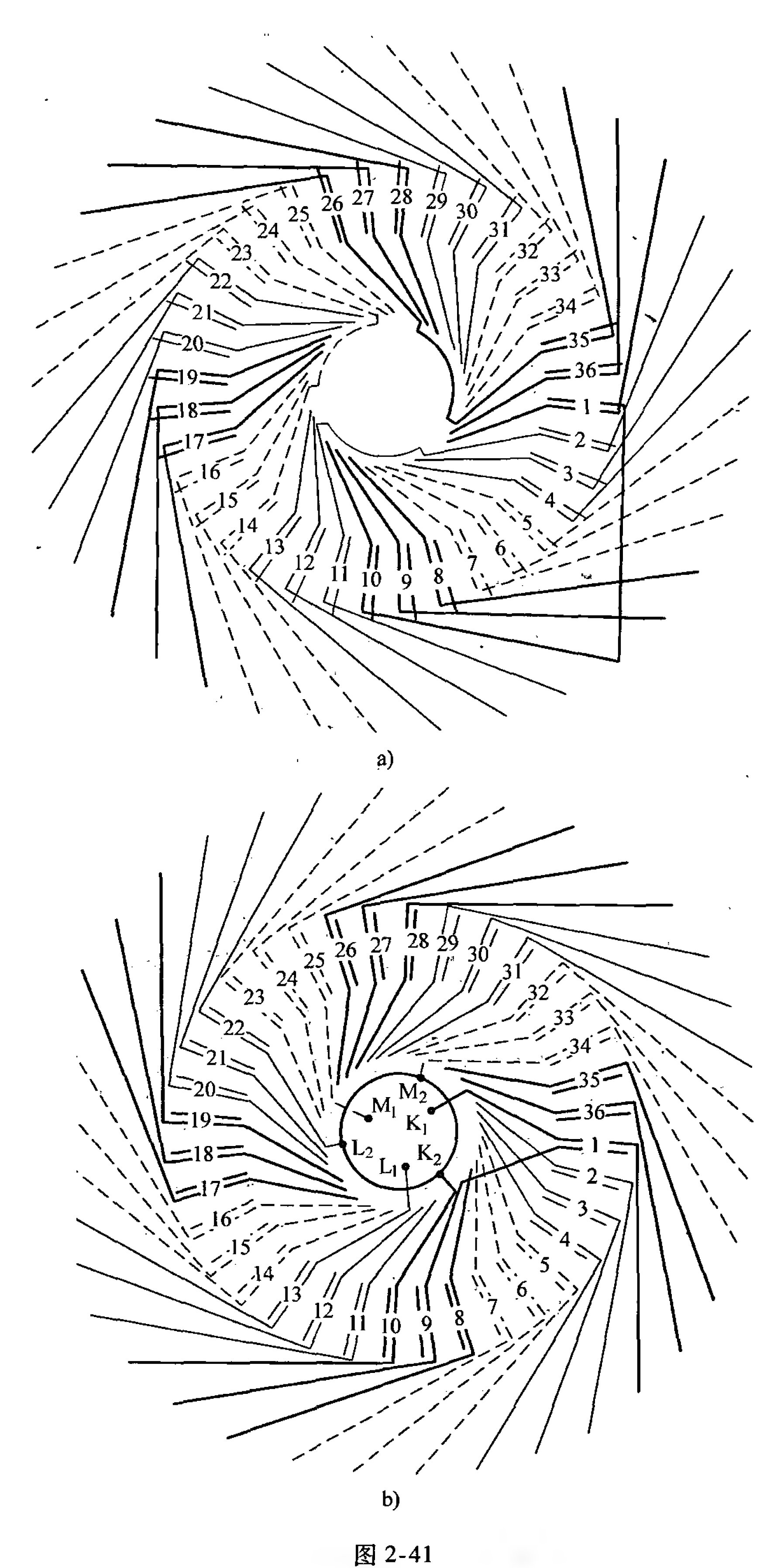


图 2-41

a）下层布置图　b）上层布置图

$$M_1 = 1 + \frac{1}{3}Q = 1 + \frac{1}{3} \times 36 = 13$$

6）尾端位置与首端在同一槽内。

7）排列表见表 2-28。

表 2-28　三相 4 极 36 槽乙类波绕组排列表

绕行周次	第一周				第二周				第三周				边层
K_1	1		19		36		18		35		17		上
		10		28		9		27		8		26	下
		10		28		9		27		8		26	上
K_2	1		19		36		18		35		17		下
L_1	13		31		12		30		11		29		上
		22		4		21		3		20		2	下
		22		4		21		3		20		2	上
L_2	13		31		12		30		11		29		下
M_1	25		7		24		6		23		5		上
		34		16		33		15		32		14	下
		34		16		33		15		32		14	上
M_2	25		7		24		6		23		5		下
节距	9	9	9	8	9	9	9	8	9	9	9	—	

8）绕组展开图如图 2-42（一相）所示，绕组端视图如图 2-43 所示，图 2-44是该绕组嵌放时的摆置图。

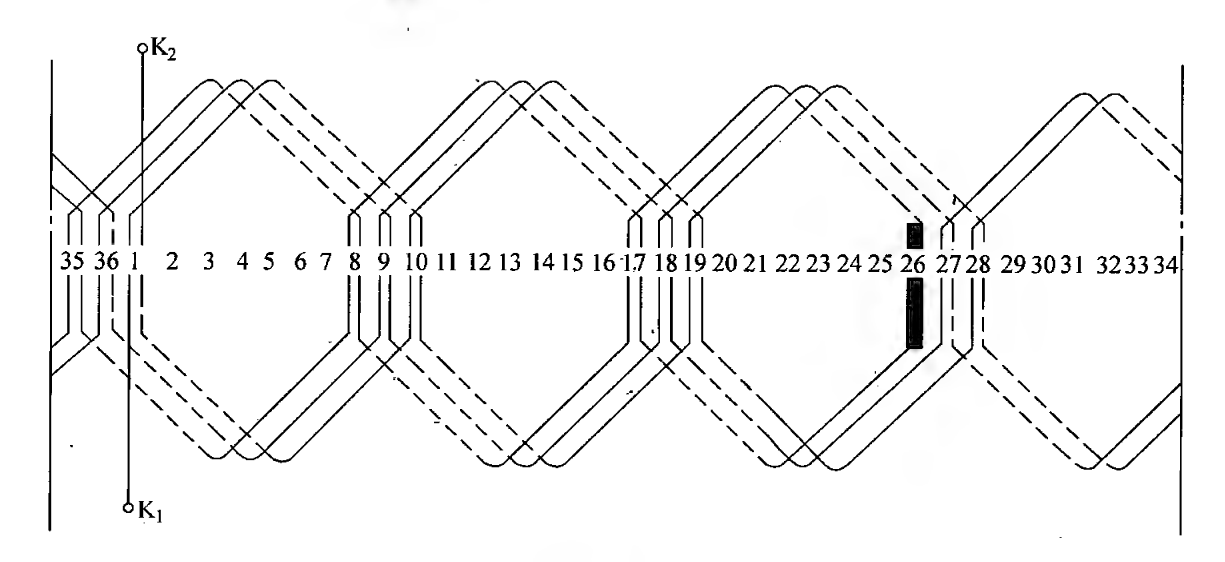


图 2-42　三相 4 极 36 槽乙类波绕组展开图（一相）

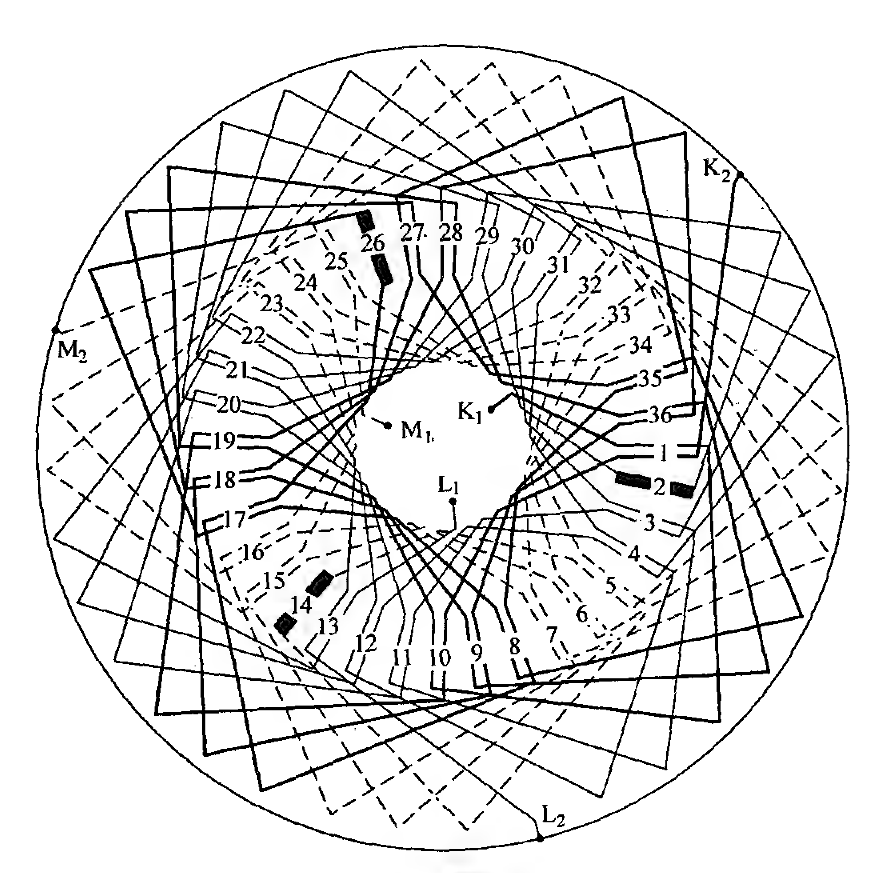
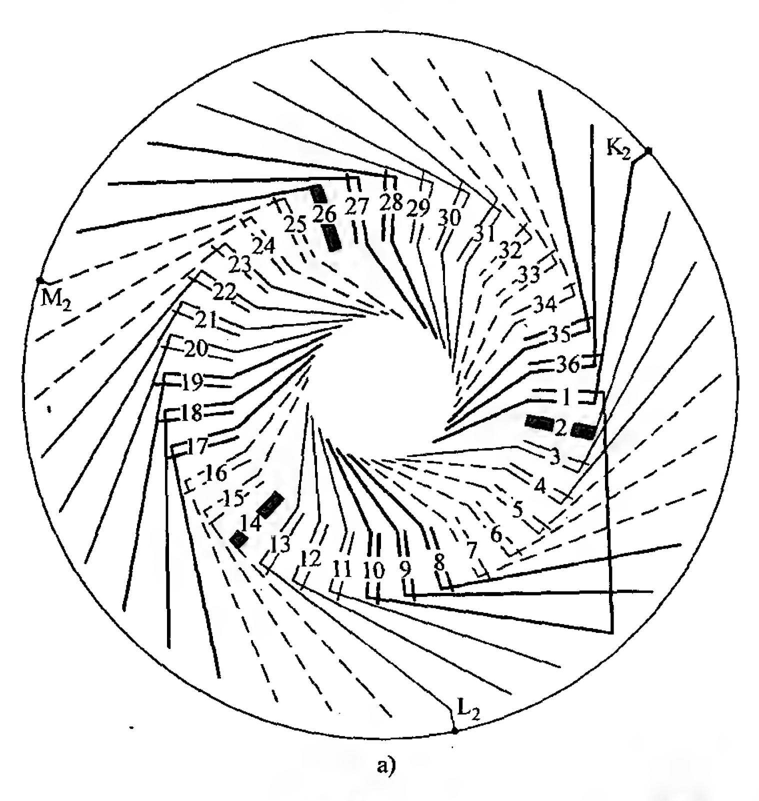


图 2-43 三相 4 极 36 槽乙类波绕组端视图

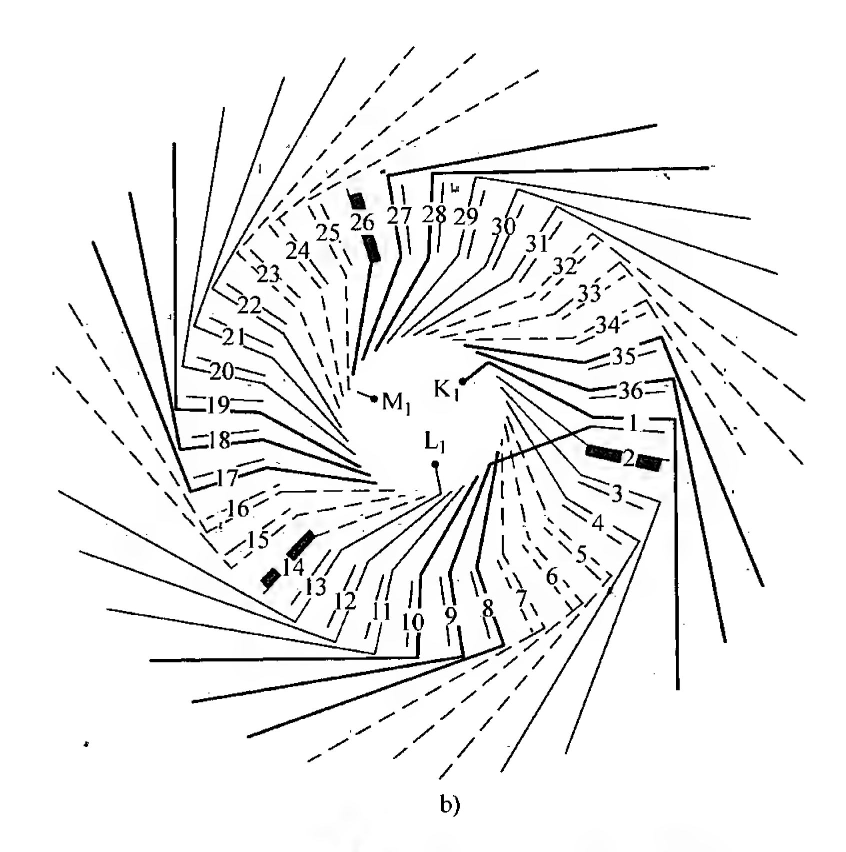
注：前节距 $y_1 = 1-10$；后节距 $y_2 = 1-10$；短节距 $y_3 = 1-9$



a)

图 2-44 三相 4 极 36 槽乙类波绕组上、下层摆置图

a) 下层布置图



b)

图 2-44　三相 4 极 36 槽乙类波绕组上、下层摆置图（续）
b）上层布置图

第三章　三相多速异步电动机绕组的调制

根据公式 $n=60f(1-s)/p$ 可知，三相异步电动机的转速 n 与电动机的极对数 p 成反比，电动机的极对数 p 越多，电动机的转速 n 就越低；p 越少，电动机的转速 n 就越高。而电动机极对数的多少，主要决定于定子绕组结构和接线。如果一套定子绕组的接线能改变，就可以使一台电动机得到两种或者几种极对数，即一台电动机可以有两种或几种转速。这种电动机称为多速电动机。

三相多速异步电动机具有简单可靠、高效的特点，在调速级别要求不高的生产机械中有着广泛的应用。

三相多速异步电动机的定子绕组有单绕组和双绕组两种。单绕组三相异步电动机，其定子铁心内仅嵌放一套绕组，当绕组端部接线改变时，即可获得几种转速，双绕组三相异步电动机的定子内嵌放两套相互独立、具有不同极对数的绕组，双绕组可以接成两种极对数，也可以每套绕组接成两种极对数，一台电动机即可获得 3 种或 4 种转速。

绕线转子的异步电动机，若改变极对数，定、转子绕组必须同步变更结构和接线，比较复杂和麻烦，一般不做。而笼型转子能自动适应定子绕组的极对数，所以三相多速电动机都是笼型转子电动机。

本章主要对单绕组多速电动机的定子绕组结构的排列及接线特点进行简单的分析和介绍。

第一节　变极方法的原理

改变定子绕组的极对数，一般有 3 种方法：①单一绕组，只改变其不同的接线组合，得到不同的极对数；②在定子槽内安放两个不同极对数的独立绕组；③在定子槽内安放两个不同极对数的独立绕组，而且每个绕组又可以有不同的接线组合，得到不同的极对数。其中第一种方法最简单实用，较为常见。本节主要对这种单绕组多速电动机变极方法的原理进行讨论。

单绕组多速异步电动机变极方法有多种，本节仅介绍反向法、换相法和变节距法。

一、反向法变极原理

以最简单的 2/4 极双速电动机为例来说明反向法的变极原理。图 3-1 表示定子中的一相绕组，它只有两个集中线圈的极相组。其中，图 3-1a 和图 3-1b 是这

两个极相组的不同连接情况。图 3-1a 是两个极相组顺向串联情况（“尾-首”连接），又称庶极连接。当它们通入电流后，根据右手螺旋定则可判断出，电动机内产生一个 4 极的磁场。图 3-1b 是将两个极相组反向串联情况（“尾-尾”或“首-首”连接），又称显极连接。其他的均和图 3-1a 中一样。当对它们通入相同电流后，电动机内则产生了一个 2 极磁场。由此可见，若使定子的极对数成倍改变，只要通过改变定子绕组的端部接法，使每半相绕组中的电流方向反向，即可达到目的。这就是反向法变极原理。

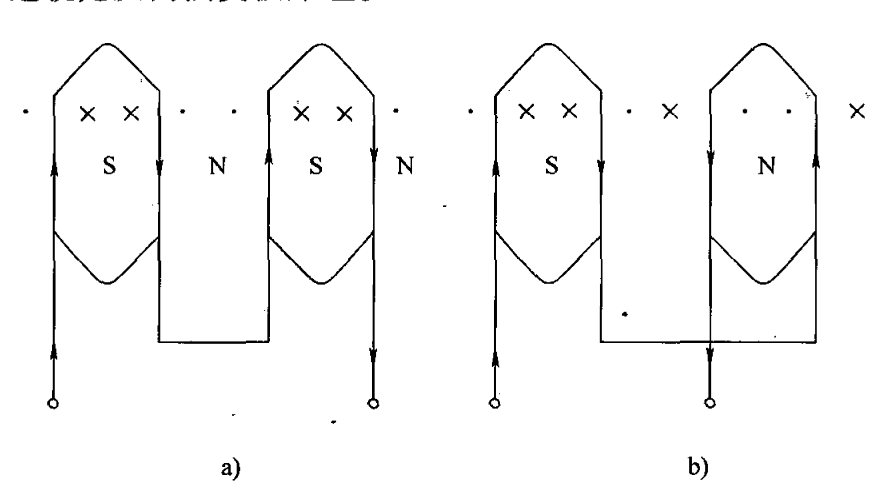
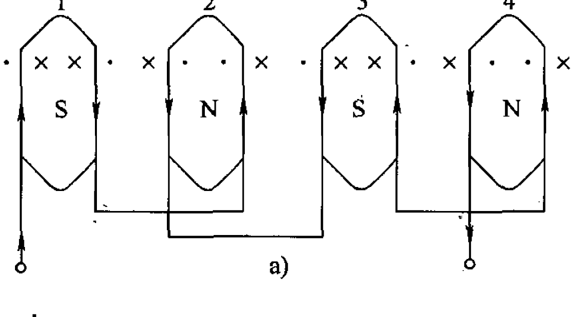


图 3-1　2/4 极反向变极原理示意图

利用反向法，除了得到倍极比（2/4 极、4/8 极等）多速电动机外，还可得到非倍极比（例 4/6 极、6/8 极等）多速电动机。

以 4/6 极两速电动机为例，如图 3-2所示。在图 3-2a 中，4 组线圈反向串联连接时，线圈 1、2、3、4 中的电流在电动机气隙中则产生 4 极磁场。若将半相绕组（线圈 3、4）反接，如图 3-2b 所示，则线圈 3、4 中的电流反向，这时，电动机气隙就产生了 6 极磁场，这样，就可获得了 4/6 极两速电动机。



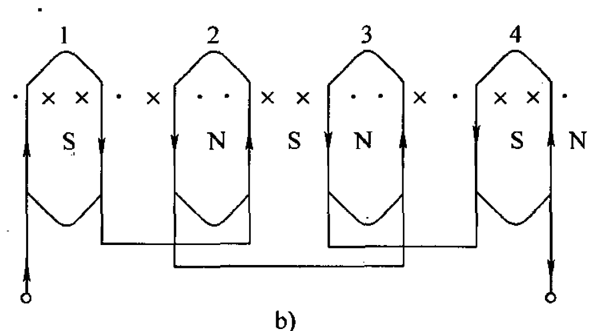


图 3-2　4/6 极反向变极原理示意图

反向法改变极数是单绕组多速电动机最常用的一种方法。

二、换相法

反向法是在电动机各槽相号不变的情况下，通过接法的变化改变部分线圈电

流方向达到极数的改变。而换相法是在部分线圈反接的同时，适当改变某些线圈的相号，例如：将 U 相的部分线圈变为 V 相；将 V 相变为 W 相等等。这样的变化，会使一些极数下，具有较高的绕组系数，使电动机在该极数下运行时性能得到改善。弥补了反向法在一些绕组中的不足。换相法的缺点就是绕组的出线端较多。换相法和反向法的原理相似，只是接线改变的方法不同。在后面的例证中详细介绍。

三、变节距法

反向法可以使电动机得到两种转速，利用换相法加反向法可使电动机得到 2 种、3 种或 4 种转速。如果利用反向法加变节距法，同样可以得到 3 种以上的转速。变节距法的主要特点是：在单绕组中嵌放两种不同节距的绕组，即一半绕组为短距绕组，另一半绕组为整距绕组。这样可以适应更多极数品位的需要，在改变接线时，可达到改变更多的极数品位。用这种变节距法可获得单绕组三速电动机，不仅绕组系数高，而且出线头少，控制方便。这种方法也在后面例证中专门介绍。

四、端部接线方法

以上 3 种方法均需同时改变三相绕组端部接线来实现，在实践中，既要符合变极的需要，又要接线尽可能方便，常用的接线方法有 2 Y/△、2 Y/Y，电动机的出线端只有 6 个出线头；2△/Y、2 Y/2 Y出线头为 9 个；还有$\triangle\!\!\!\!\triangle$/2△、$\triangle\!\!\!\!\triangle$/3 Y 等接法。图 3-3 所示为部分接法示意图。

图 3-3 中，分别用实线和虚线表示两种不同接法时绕组的电流方向。若Y联结和△联结时各相电流均为正方向（规定Y联结电流的正方向为流入中点方向；△联结电流的正方向为逆时针方向），U_1、U_2，V_1、V_2，W_1、W_2 分别表示 U 相、V 相、W 相绕组的一半线圈。从图中可看出，不同接法时，U_1、V_1、W_1 的电流反向，满足了变极时各半相绕组电流反向的要求。图 3-3c 中，2△/Y两种接法线圈电流反向情况不明显，但若将Y和 2△两种接法分别画出，如图 3-4 所示，就能清楚地看到绕组由 2△变为Y联结时，线圈组 U_1、V_1、W_1 中电流反向。

一台多速电动机选择哪种接线方式，不仅要考虑转速（极数）的改变，还要考虑两点：一是电动机转速改变前后的性能要求。比如：2/4 极双速电动机，应当采用 2 Y/Y联结，电动机在两种转速输出的转矩基本不变，而输出的功率相差很大，所以属恒转矩调速性质。若采用 2 Y/△联结，电动机在两种转速下输出的功率近似相同，属于恒功率调速性质。二是电动机转速改变前后的转向。例如：2/4 极双速电动机，采用 2 Y/△或采用 2 Y/Y联结，电动机两种转向均是相反的，俗称反转向。有的接法前后两种转向是相同的，俗称同转向。以上两点在实际电动机的连接方式选择时必须想到，否则电动机就不能适合负载的需要。

图 3-3 双速电动机绕组接法示意图

a) 2Y/△ b) Y/2Y c) 2△/Y d) 2Y/2Y

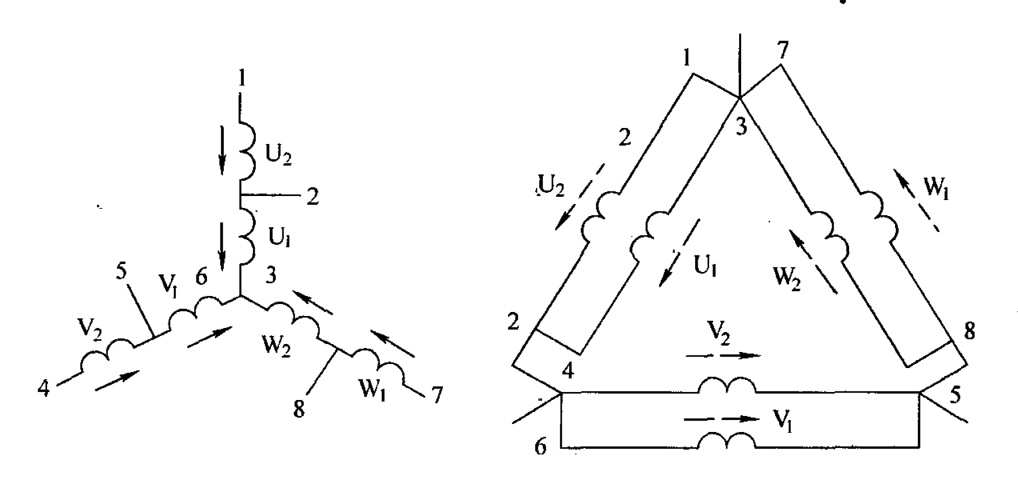


图 3-4 图 3-3 中 c) 的两种接法

第二节　槽矢量星形图

对单绕组多速电动机，定子绕组的安排和接线比单速异步电动机要复杂。绕组在各极下所产生的磁场既要对称，又要使电动机在各转速下运行时，功率、转矩尽可能足够大，性能尽可能良好。所以此类电动机绕组在定子铁心中排列和接线时遵循的原则概括起来为三句话：即“兼顾各极，综合平衡，都要对称。”

经过长期实践证明，用槽矢量星形图帮助分析排列多速电动机的绕组，是一种准确、快捷的好方法。本节着重介绍槽矢量星形图的画法，首先介绍一下作用原理，以便后面应用方便。

槽矢量星形图是将定子各槽导体在磁场作用下，所产生的感应电动势（后面简称槽电势），画出的一种矢量图形，全称是槽电势矢量星形图。

第二章介绍单速三相异步电动机定子绕组时就知道，定子绕组在铁心槽内的排列和连接是有一定规律的，其关键是必须保证三相绕组对称，三相绕组的匝数、大小、几何形状完全相同，且在空间互差120°的电角度。这样，电动机内才能产生一个理想的圆形旋转磁场，在此磁场的作用下，各相绕组才能产生一个大小相等、相位互差120°的三相电动势。根据这一规律，定子绕组的排列规律，即可用槽电势矢量星形图来表示。

三相绕组在铁心各槽内的导体数都相等，均匀地分布在铁心内圆周上。由于各槽在圆周上的位置不同，各槽导体产生的感应电动势虽然大小相等，但各槽电势之间都有一个相位差。若用不同方向的矢量表示槽电势，画出各槽电势矢量图形，即为槽矢量星形图。

一、槽矢量星形图的作图方法

【例3-1】　以4极24槽单速异步电动机的定子为例，介绍槽矢量星形图的作图方法。

1）计算每槽的空间电角度 α 为

$$\alpha = \frac{极数 \times 180°}{槽数} = \frac{4 \times 180°}{24} = 30°$$

2）在纸上水平线的右方，画出第一根矢量，此后每隔30°（几何角度）作一同样矢量。这样一个圆周上可作出12条长度相等的矢量。因每槽导体相同，产生的电势大小相等，只是各电动势相位差互差30°，故12条矢量分别代表12个槽的电势矢量。

3）将水平右方的第一根矢量作为基准0°初相角，由此按顺时针方向分别标出矢量号1、2、3、…、12，依次落后一个 $\alpha = 30°$ 电角度。因为4极电动机，其空间电角度是圆周几何角度的两倍，所以所画出的槽矢量要转两周。第13～24槽

的矢量分别与第 1～12 槽的矢量重合，每根矢量上标有两个槽号，如图 3-5 所示。

以这样的画法规律，2 极电动机槽矢量沿圆周角转 1 周即完毕，如图 3-6 所示；6 极电动机沿圆周角转 3 周；8 极电动机转 4 周，等等。

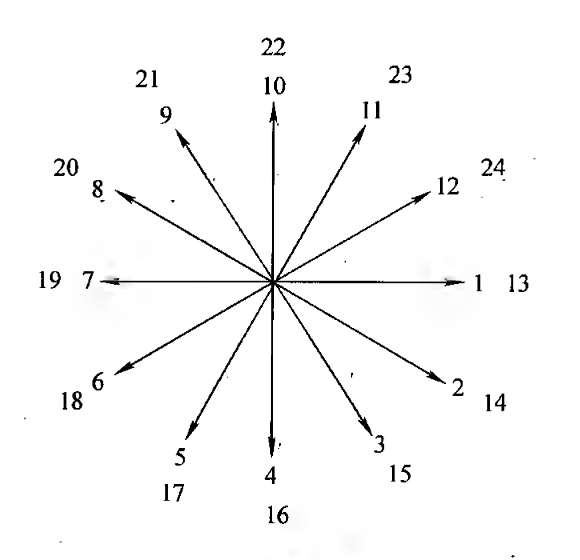


图 3-5　4 极 24 槽矢量星形图

图 3-6　2 极 24 槽矢量星形图

对双层绕组，画图时只需作每个线圈一条元件边的槽电势矢量即可，所作出的槽矢量星形图就可代表电动机全部线圈感应电动势的大小和相位关系。这是因为线圈另一个元件边感应电动势的相位关系完全和已作出的槽矢量相同，惟一的区别只是相差一个短距所决定的电角度，电动势的大小由短距系数来考虑。

二、用槽矢量星形图排列绕组

【例 3-2】　仍以 4 极 24 槽电动机为例，用槽矢量星形图安排定子绕组。

1）计算出槽电角度 α：

$$\alpha = \frac{2p \times 180^\circ}{Q} = \frac{4 \times 180^\circ}{24} = 30^\circ$$

根据 α 大小画出槽矢量星形图，如图 3-5 所示。

2）计算出每极每相槽数 q：

$$q = \frac{Q}{2pm} = \frac{24}{4 \times 3} = 2$$

3）排出 U 相绕组

① 任意取相邻的 $q=2$ 个槽为 U 相在第一极下的槽，例如：取 1、2 槽，并在矢量星形图的槽号 1、2 旁标注上相号 U。

② 由于相邻两磁极是异性的，U 相在第二磁极下的各槽电势与第一磁极下各对应槽的槽电势，在相位上应该相差 180°电角度，所以从槽矢量星形图上 U 相在第二极下的 7、8 两槽标注上 －U 相号。－U 上负号的意思是：此二槽内导体电动势极性相对于前一极为异性，在连接时，此二槽内线圈电流的方向和前二

槽（1、2 槽）的导线电流应相反。

③ 同理，U 相在第三极和第四极下所占的槽分别是 13、14 和 19、20，分别标上相号，且 19、20 两槽标以负号。

4）排出 V 相绕组：V 相绕组的排列和 U 相完全相同，只是起始的两个槽位置必须确保和 U 相的两个起始槽在空间要互差 120°电角度。本例中，槽电角度 α=30°U 相起始槽为 1、2，所以 V 相起始槽应为 5、6 槽。这样 V 相在第二、三、四极所占的槽号分别是 11、12、17、18、23、24，其中 11、12、23、24 四槽为负号。

5）排出 W 相绕组：W 相的起始两槽和 V 相的起始两槽相位上也应相差 120°电角度，因此是 9、10 两槽。W 相在第二、三、四极所占的槽号分别是：15、16、21、22、3、4，其中 15、16、3、4 四槽为负号。排出的三相绕组槽矢量星形图如图 3-7 所示。

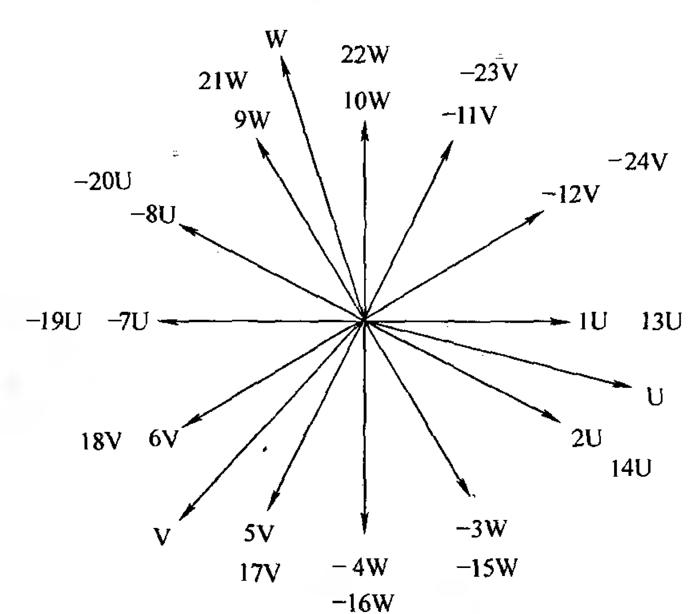


图 3-7　4 极 24 槽三相矢量星形图

6）作绕组排列表

根据图 3-7，可作出该绕组排列表，见表 3-1。

7）绕制绕组展开图

根据表 3-1，若嵌放单层绕组，可将同相中异号槽作为线圈的两个边，组成若干极相组。例如，本例中，U 相绕组中的 2U 和 -7U，-8U 和 13U，14U 和 -19U，-20U 和 1U，可分别组成线圈，且将这些线圈按“首-首”或“尾-尾”串联起来，三相便成为单层链式绕组，如图 3-8 所示，为 U 相绕组展开图。

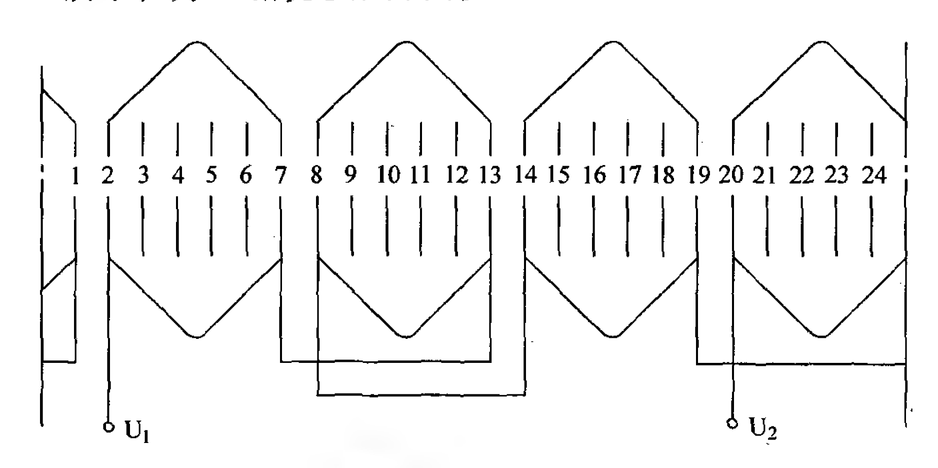


图 3-8　4 极 24 槽定子单层绕组展开图（U 相）

若本例嵌放双层绕组，先选取线圈节距 y（本例取 $y=1-6$）。表 3-1 中即为双层绕组的下层边排列顺序。

表 3-1　三相 4 极 24 槽绕组排列表

槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
相号	U	U	-W	-W	V	V	-U	-U	W	W	-V	-V
槽号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
相号	U	U	-W	-W	V	V	-U	-U	W	W	-V	-V

取每极每相槽数 q 个线圈为极相组，本例中同相相邻的是两个槽，即 $q=2$，可为一个极相组。这样有：1U，2U；-3W，-4W；5V，6V……共 12 个极相组，依槽号顺序排列各槽中的下层，线圈的上层边均和下层边按 $y=1-6$以相同的顺序再嵌放于各槽的上层。同相的各极相组因在不同的极下，所以将它们按“首-首”或“尾-尾”反向串联在一起。这就是双层叠绕组的一路接线，该绕组的展开图或绕组端视图均可画出，图 3-9 即为该绕组的端视图（U 相）。

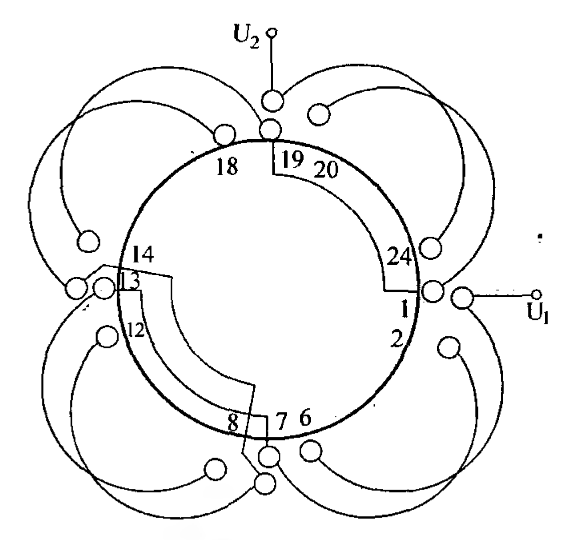


图 3-9　4 极 24 槽定子双层绕组端视图（U 相）

三、检查三相绕组是否对称

用槽矢量星形图还可以检查已排好的三相绕组是否对称。具体方法如下：

1）将一相所有的槽矢量集中起来，其中相号为负的矢量可将其中归到与之相反的正槽矢量上去，而归结后在槽号上标上负号。然后用矢量相加的方法将一相全部槽矢量并为一个相矢量，三相 U、V、W 相矢量即可得出，如图 3-10 所示。

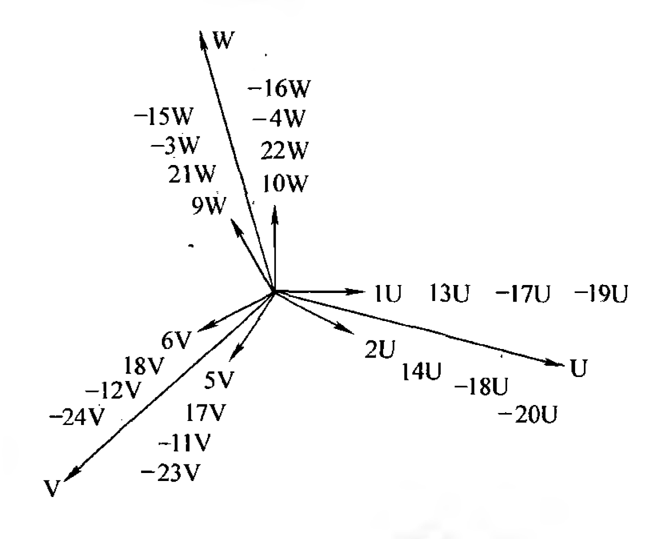


图 3-10　三相 4 极 24 槽相矢量图

2）由图 3-10 可见，U、V、W 三个相矢量的大小是相等的，并在相位上互差 120°电角度，这种情况即可说明，构成的三相绕组是对称的，否则说明排出的绕组不是对称绕组。

第三节 反向法调制的双速电动机绕组

双速异步电动机是单绕组多速电动机中最基本、应用最广泛的一种。它分倍极比双速电动机和非倍极比双速电动机。本节着重用反向法来排列和调制以上两种双速电动机的定子绕组。

一、反向法调制倍极比双速电动机的绕组

倍极比双速电动机的两种极对数是呈倍数关系，例如：2/4 极、4/8 极等。此类双速电动机的定子绕组用反向法进行调制最方便。具体调制步骤方法如下：

1）选基准极：通常选少数极为基准极，采用显极接法。这样少数极的绕组每相在一个极下所占的槽数应为 $q=Q/(2pm)$，按电角度计，每相在一个极下则占 $180°/m=180°/3=60°$电角度，俗称 60°相带。当将这种绕组改为庶极接法后，即可获得倍数极（多数极），多数极则为 120°相带。

2）分别画出基准极和多数极的槽矢量星形图，并在图上标出槽号。

3）按照反向法的原则，各槽的相号不变来标出各槽的相号。即先标基准极的相号，后面标注多数极各槽相号时必须和基准极的相号一样。

4）选定三个相矢量方向，据此确定各槽相号的正负。取定相矢量方向时，必须考虑到，三个相矢量必须对称，再就是由此决定的每相各槽的正负号尽可能按组连号，以便绕制线圈并易于嵌放。各槽相号的正负号可根据它与所选定的本相矢量交角的大小来决定，交角小于 90°的为正，交角大于 90°的为负。

5）检查各极下三相是否对称，如不对称应重新考虑排列方案。

6）列出两种极下全部绕组的排列表。

7）计算绕组系数，以分析排列后的绕组性能优劣。

在槽矢量星形图上求分布系数 K_d，方法是将一相所属全部槽矢量加起来得出其矢量和，然后将矢量和除以本相槽矢量的算术和（单个矢量值 × 矢量数），即得出分布系数 K_d，即

$$K_d=\frac{\text{一相所属全部槽矢量的矢量和}}{\text{一相所属全部槽矢量的算术和}}$$

短距系数为 $K_y=\cos\frac{\gamma}{2}$或 $K_y=\sin\left(\frac{y}{\tau}\times 90°\right)$

式中，γ 为一个线圈的节距较之整距所短（或所长）的电角度。

节距的确定：为照顾多数极的出力，倍极比双速电动机绕组节距常取接近或等于多极数的整距。

这样，$K_w=K_dK_y$。

【例 3-3】 用反向法排列 $Q=36$槽、4/8 极单绕组双速电动机的绕组排列方案。

解：1）选 4 极作为基准极，作出 4 极槽矢量星形图并标出相号，如图 3-11 所示。

其中每槽电角度为

$$\alpha_4 = \frac{2p \times 180^\circ}{Q} = \frac{4 \times 180^\circ}{36} = 20^\circ$$

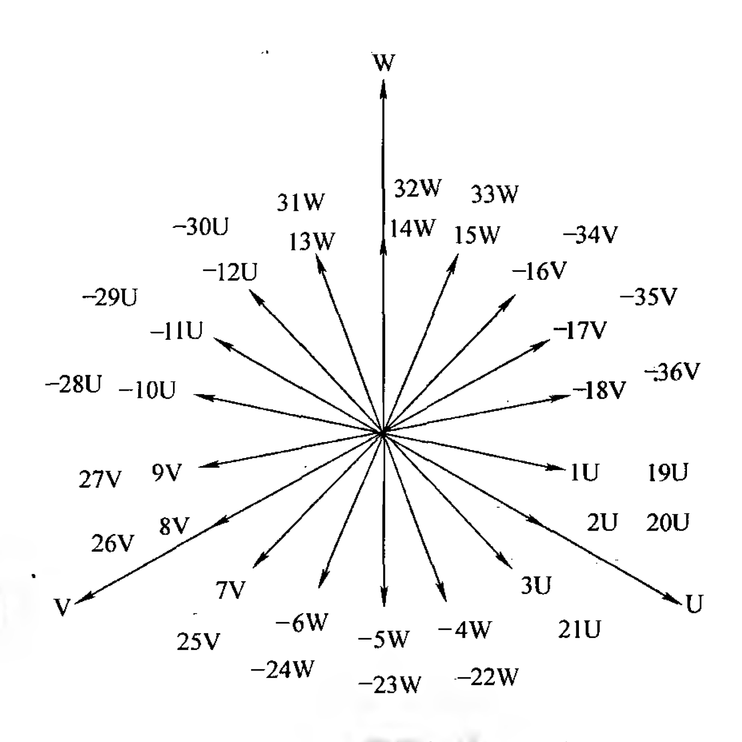


图 3-11 4 极 36 槽槽矢量星形图

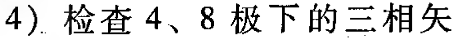
2）画出 8 极时的槽矢量星形图，在各矢量上标出槽号，每槽电角度为

$$\alpha_8 = \frac{2p \times 180^\circ}{Q} = \frac{8 \times 180^\circ}{36} = 40^\circ$$

对照 4 极时各槽矢量的相号在 8 极槽矢量图上标出相号，如图 3-12 所示。

图 3-12 8 极 36 槽槽矢量星形图

3）选定 8 极槽矢量星形图上的三个矢量方向。通过观察分析图 3-12，显然 U 相矢量应选在槽 2、11、20、29 方向；V 相矢量选在槽 8、17、26、35 方向；W 相矢量选择在槽 5、14、23、32 方向。由于各相所属全部槽矢量与相矢量之间的交角都小于 90°，故全部槽的相号都为正。



4）检查 4、8 极下的三相矢量都满足对称要求。而且，两种极数下的三相矢量相序相反（4 极时 U、V、W 为顺时针方向排列；8 极时 U、V、W 则为逆时针方向排列），表明这种排列为“反转向方案”。若使用场合要求两种极数的转向相同，只要在 8 极控制线路中将三根电源线中的任意两根同时对调即可。

5）列出两种极数下全部绕组的排列表，见表 3-2。表中的 * 号表示该槽导线（或线圈）在变极时电流反向。从表 3-2 中可清楚看出，无论三相中的哪一相，变极时都有一半线圈电流反向。这和前面变极原理所述结论一致。

表 3-2 36 槽 4/8 极双速电动机绕组排列表

槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4 极	U	U	U	-W	-W	-W	V	V	V	-U	-U	-U	W	W	W	-V	-V	-V
8 极	U	U	U	W	W	W	V	V	V	U	U	U	W	W	W	V	V	V
反向指示				*	*	*				*	*	*				*	*	*
极相组号	一			二			三			四			五			六		
槽号	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
4 极	U	U	U	-W	-W	-W	V	V	V	-U	-U	-U	W	W	W	-V	-V	-V
8 极	U	U	U	W	W	W	V	V	V	U	U	U	W	W	W	V	V	V
反向指示				*	*	*				*	*	*				*	*	*
极相组号	七			八			九			十			十一			十二		

6）对多速电动机大多按双层叠绕组嵌放。对本例，按多数极 8 极选取线圈节距，即

$$y=\frac{Q}{2p}\pm\varepsilon_s=\frac{36}{8}+\frac{4}{8}=5\text{（长距）}$$

从表 3-2 中可看到，每三个槽号为同相且方向一致，取三个线圈连绕为 1 个极相组，全台共 12 个极相组。其匝数节距（$y=1-6$）完全相同。联结方法，根据电动机的使用场合可选 2 Y/Y（恒功率）或 2 Y/△（恒转矩），均能满足表 3-2中的要求。本例取 2 Y/Y和 2 Y/△两种联结，其绕组展开图（简便画法）如图 3-13 所示。其圆形简化接线图如图 3-14 所示。

7）计算绕组系数：本例中，4 极和 8 极一相（U 相）所有槽矢量如图 3-15 所示。为简单计，规定每根槽矢量数值为 1，它们共有 3 个方向，每个方向槽矢量值为 4，一相共有 12 个槽矢量。

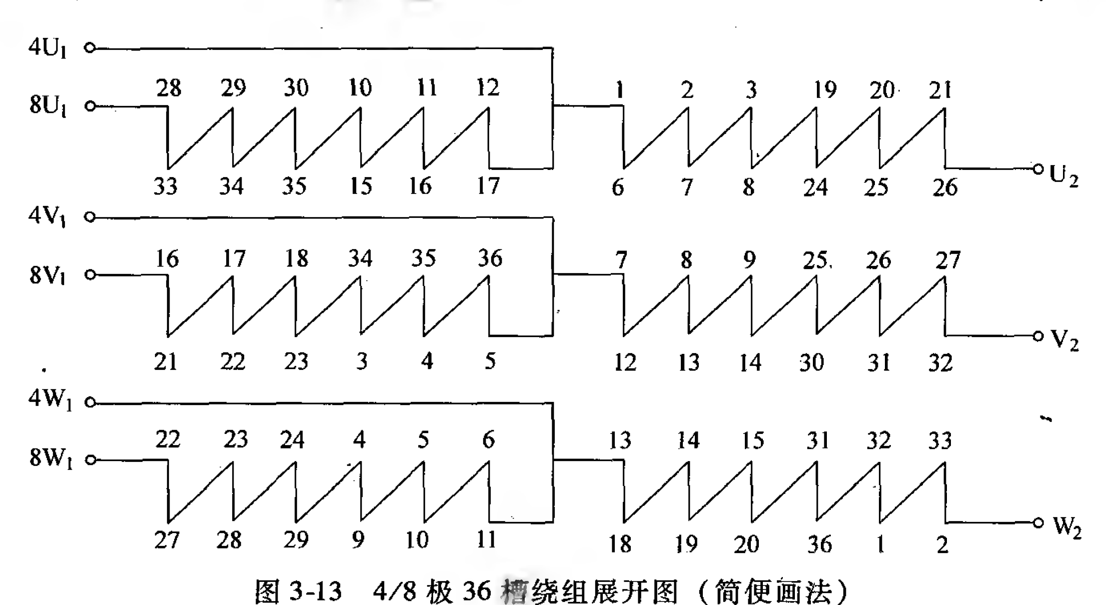


图 3-13 4/8 极 36 槽绕组展开图（简便画法）

图 3-14 4/8 极 36 槽绕组圆形简化接线图

a）简化接线图 b）2Y/Y联结 c）2Y/△联结

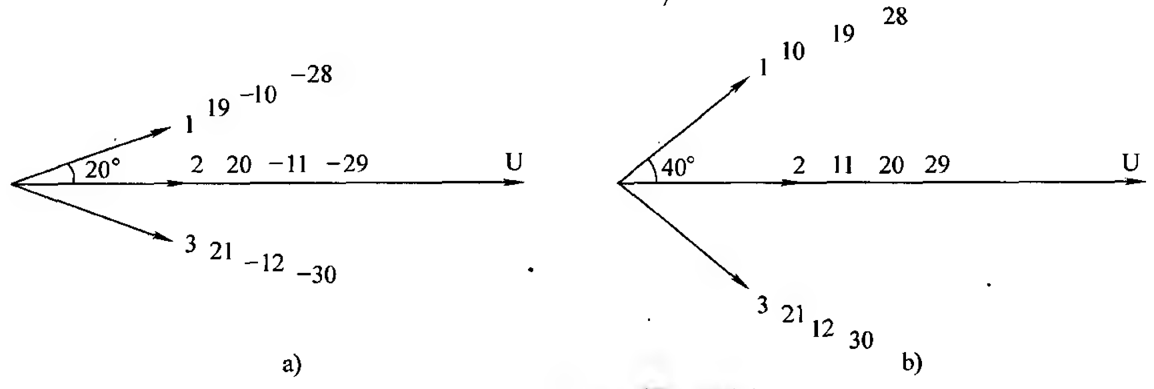


图 3-15 U 相所有槽矢量图

a）4 极时 b）8 极时

这样，4 极时的分布系数为

$$K_{d4}=\frac{4\times\cos20^\circ+4\times\cos0^\circ+4\times\cos20^\circ}{12}=0.96$$

8 极时的分布系数为

$$K_{d8}=\frac{4\times\cos40^\circ+4\times\cos0^\circ+4\times\cos40^\circ}{12}=0.844$$

因 $y=5$，4 极时较其极距（$\tau=9$）短 4 槽，相当于 γ_4 为 $20^\circ\times4=80^\circ$；8 极时较其极距（$\tau=4.5$）长 0.5 槽，相当于 γ_8 为 $40^\circ\times0.5=20^\circ$，所以

$$K_{y4}=\cos\frac{80^\circ}{2}=0.766$$

$$K_{y8}=\cos\frac{20^\circ}{2}=0.985$$

绕组系数如下：

4 极时　$K_{W4}=K_{d4}K_{y4}=0.96\times0.766=0.735$

8 极时　$K_{W8}=K_{d8}K_{y8}=0.844\times0.985=0.831$

两种极数下绕组系数如果越接近，电动机在两种转速下运行时出力越接近。所以选择节距及分布情况时，一定要兼顾到这些。

二、反向法调制非倍极比双速电动机的绕组

前面对倍极比双速电动机绕组用的反向法基本上是正规分布绕组。所谓正规分布绕组是指相矢量分布是有规则的（每个方向上矢量的槽数相等，各矢量之间夹角相等）。在非倍极比双速电动机绕组中，既用到正规分布绕组，也常用到非正规分布绕组。下面举例说明非倍极比双速电动机绕组的排列方法。

（一）正规分布绕组

【例 3-4】　一台定子 36 槽电动机，利用反向法排出 4/6 极正规分布双速单绕组。

解：1）选 4 极绕组为基准极并画出它的槽矢量星形图，并标出相号，如图 3-11 所示。

2）画出 6 极槽矢量星形图，如图 3-16 所示（$\alpha_6=\dfrac{6\times180^\circ}{36}=30^\circ$），标出槽号，并根据 4 极时各槽相号标出相号。

3）取定三个相矢量，如图 3-16所示。据此标出各相号的正负。在这个槽矢量星形图上取定

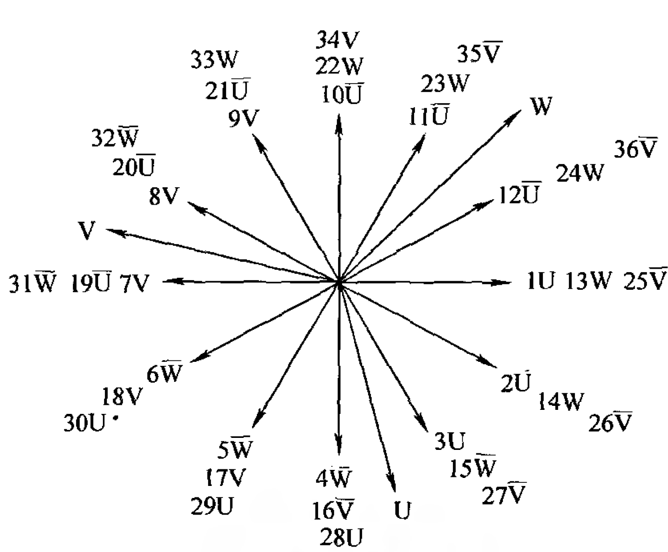


图 3-16　36 槽 6 极槽矢量星形图

相矢量方向时，无法做到各相槽按组全部连号。图上所取相矢量方向中，V 相的 16、17、18 和 34、35、36 槽，W 相的 13、14、15 和 31、32、33 槽，其中都有一个槽和另两槽不同号——接法相反，所以绕制线圈时这三只不能连绕。

4）检查三相，应是对称的，且为同转向方案。

5）列出绕组排列表，见表 3-3。

表 3-3　4/6 极双速电动机绕组排列表

槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4 极	U	U	U	-W	-W	-W	V	V	V	-U	-U	-U	W	W	W	-V	-V	-V
6 极	U	U	U	-W	-W	-W	V	V	V	-U	-U	-U	W	W	-W	-V	V	V
反向指示															*		*	*
极相组号	一			二			三			四			五		六	七	八	
槽号	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
4 极	U	U	U	-W	-W	-W	V	V	V	-U	-U	-U	W	W	W	-V	-V	-V
6 极	-U	-U	-U	W	W	W	-V	-V	-V	U	U	U	-W	-W	W	V	-V	-V
反向指示	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*		
极相组号	九			十			十一			十二			十三		十四	十五	十六	

6）绕组的嵌绕和接线：取线圈节距 $y=\tau=36/6=6$，双层叠绕组。从排列上看出共绕 16 组线圈组，其中 3 个线圈为一组者共 8 组；2 个线圈一组者共 4 组；1 个线圈为一组者共 4 组。每个线圈的匝数、节距完全相同。

绕组联结方式：采用 2 Y/△联结，用于恒功率场合；采用 2 Y/Y联结用于要求 4 极出力提高的场合，引出线为 6 根。

2 Y/Y联结的接线如图 3-17b 所示，2 Y/△联结的接线如图 3-17c 所示。

7）绕组系数计算，分布系数为

4 极时 $K_{d4}=0.96$（前例已算过）

6 极时 $K_{d6}=\dfrac{4\times\cos75°+4\times\cos45°+4\times\cos15°}{12}=0.644$（见图 3-16）

短距系数 $y=6$，4 极时短 3 槽，相当于 60°电角度；6°极时为整距，所以 $K_{y4}=\cos30°=0.866$，$K_{y6}=1$

绕组系数为　$K_{W4}=0.96\times0.866=0.831$

$K_{W6}=0.644\times1=0.644$

看出此种绕组，6 极时绕组系数较低，只能适用低速出力要求不高的场合。

（二）非正规分布绕组

【例 3-5】　是用反向法排出了 4/6 极正规分布双速电动机绕组。虽然有一定

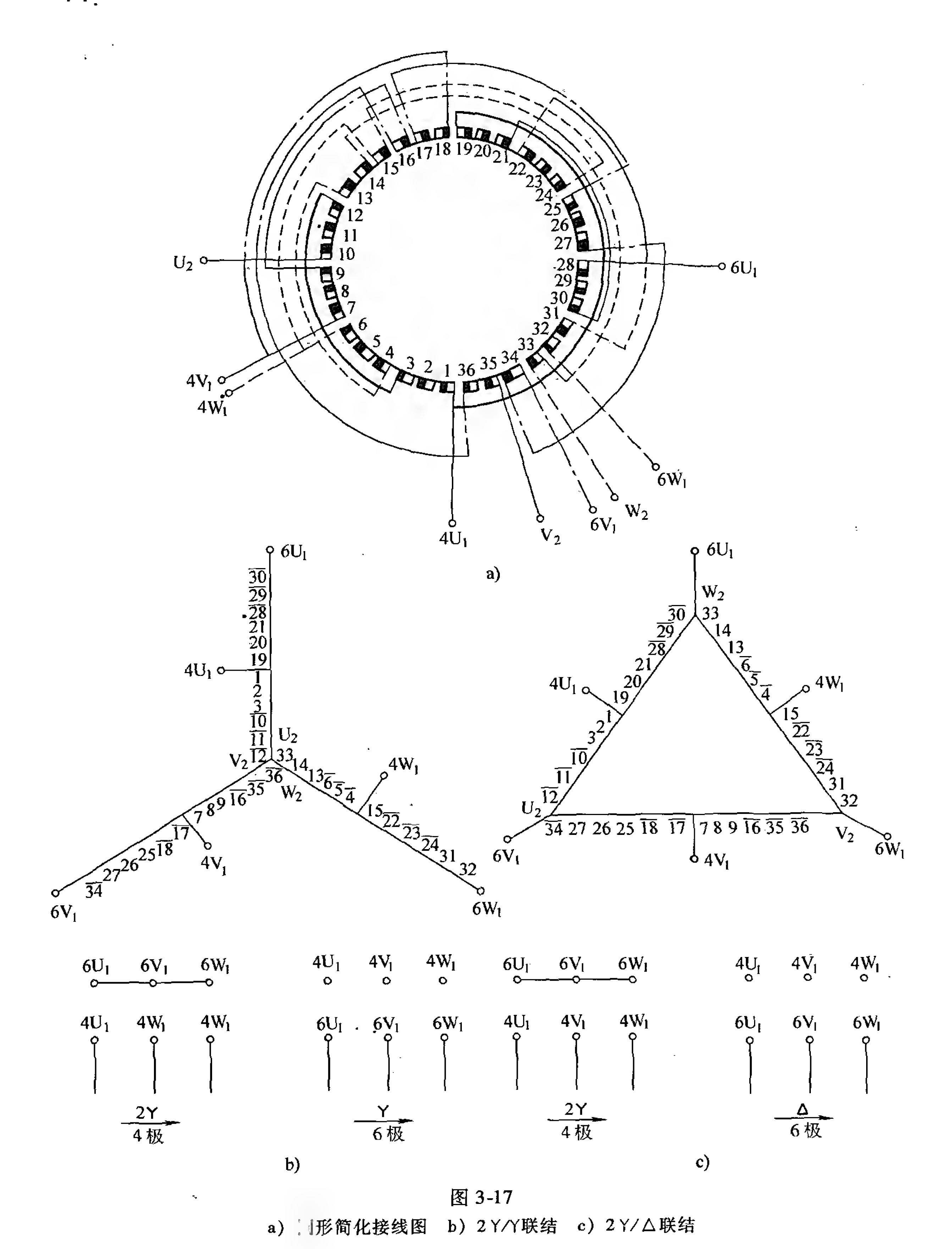


图 3-17

a) [illegible]形简化接线图　b) 2Y/Y联结　c) 2Y/△联结

优点，但存在一定缺点，主要是 6 极绕组分布系数低，引起绕组系数低。这使 6 极状态运行时电动机的空载电流大，迫使绕组必须增加匝数，减小线径，结果导

致在两种极数下的电动机出力都降低。在这种情况下，为使电动机出力大些，可采用非正规分布绕组。

非正规分布绕组，就是每相矢量分布不正规的绕组（各电动势矢量方向所含槽数不等或夹角不等）。对上例来说，采用这种绕组的主要目的是提高6极时的分布系数，当然不可避免地会降低另一极数（4极）的分布系数，但结果使两种极数的出力比较接近，弥补了前面排列的不足。

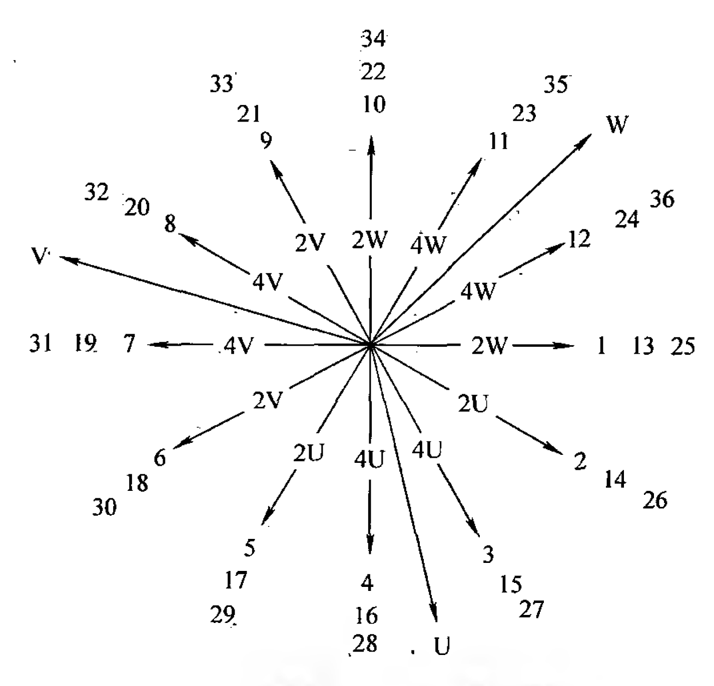


图 3-18　6极36槽非正规分布槽矢量星形图

下面仍以4/6极、36槽电动机为例，说明非正规绕组的排列方法。

从正规绕组6极时一相分布情况看（参看图3-16），它共有6个矢量，每个矢量含两槽，矢量分布可写为2、2、2、2、2、2，共12个槽，比较分散，所以分布系数低。现在将其改为2、4、4、2的不正规分布，如图3-18所示。要满足这种分布，又要使变极时各槽相号不能变，那么4极也必须同时重新调制，取其矢量分布为2、2、2、2、2、2（原来为4、4、4），如图3-19所示，也是对称的。

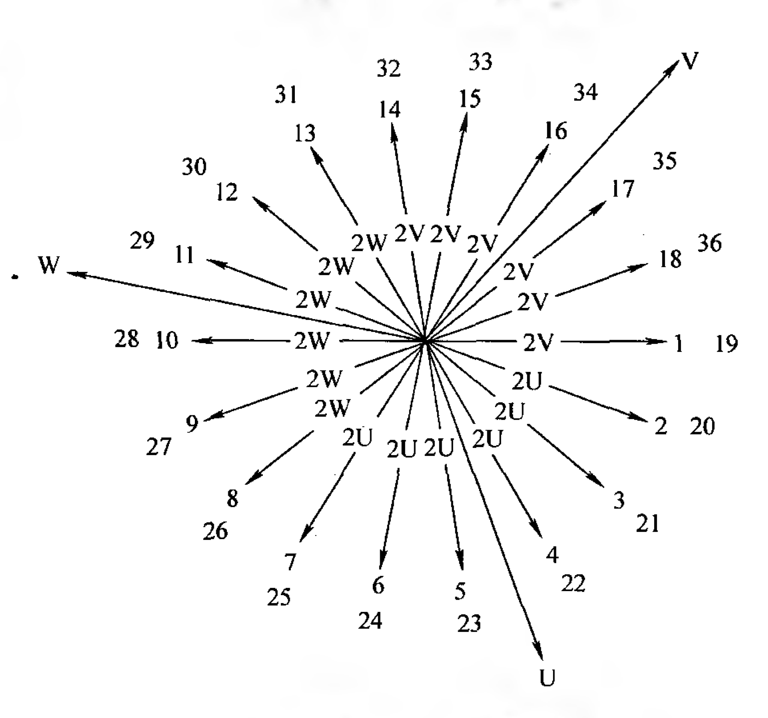


图 3-19　4极36槽非正规分布槽矢量星形图

由此得出绕组排列表，见表3-4。

取 $y=6$（6极全节距）双层叠绕组，从排列表上可得到共绕14个线圈组，其中，4个线圈为一组者共6组；2个线圈为一组者共4组；1个线圈为一组者共4组。采用2Y/△联结，其接线后引出6根出线，且为反转向方案，其接线图如图3-20所示。表3-4为4/6极36槽非正规绕组排列表。

表 3-4 4/6 极 36 槽非正规绕组排列表

槽号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4 极	V	U	U	U	U	-V	-V	-V	-V	W	W	W	W	V	-U	-U	-W	-W
6 极	-V	U	U	U	U	V	V	V	V	W	W	W	W	-V	U	U	-W	-W
反向指示	*					*	*	*	*					*	*	*		
线圈组	一	二				三				四				五	六		七	
槽号	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
4 极	V	U	U	U	U	-V	-V	-V	-V	W	W	W	W	V	-U	-U	-W	-W
6 极	V	-U	-U	-U	-U	-V	-V	-V	-V	-W	-W	-W	-W	V	-U	-U	W	W
反向指示		*	*	*	*					*	*	*	*				*	*
线圈组	八	九				十				十一				十二	十三		十四	

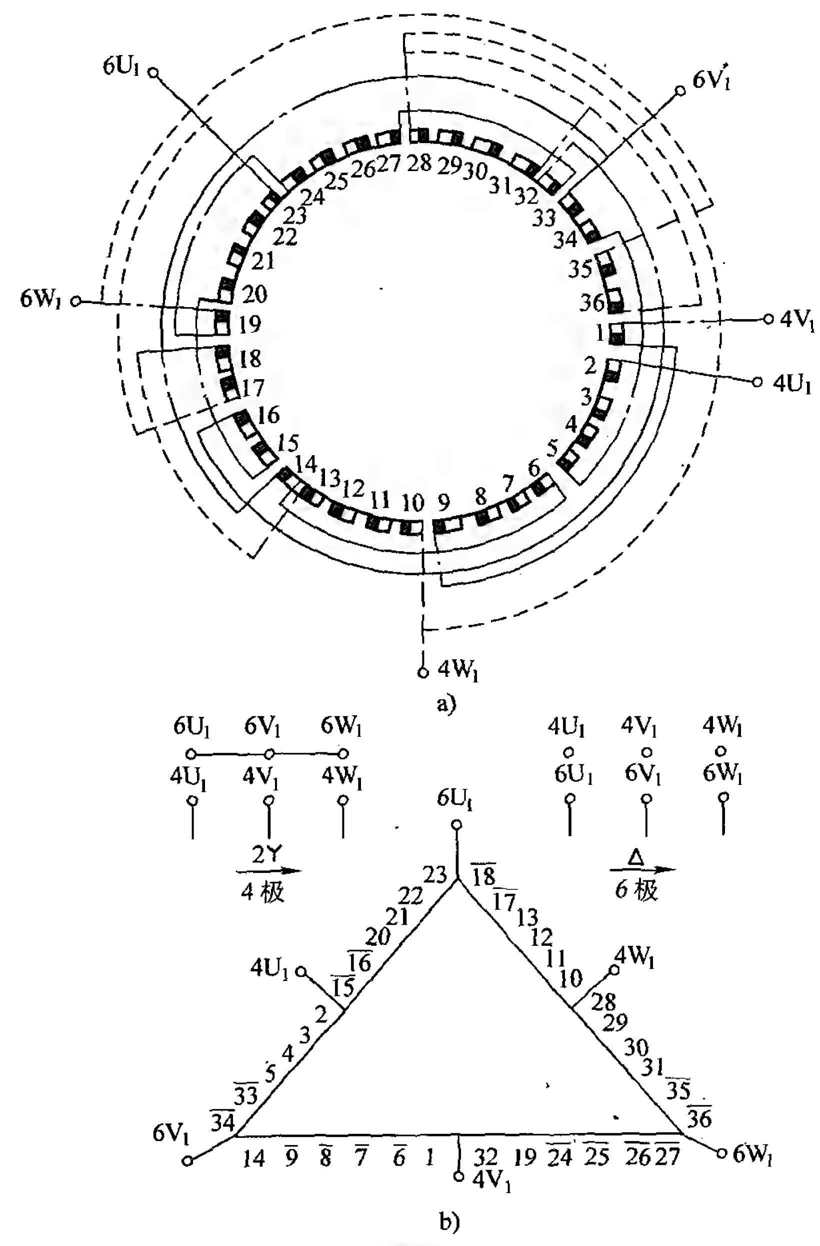


图 3-20 4/6 极、36 槽非正规分布绕组接线图

a）圆形简化接线图 b）接线原理图

这种绕组的绕组系数计算：

分布系数：4 极时，$K_{d4}=\frac{4\times\cos50^{\circ}+4\times\cos30^{\circ}+4\times\cos10^{\circ}}{12}=0.83$

6 极时，$K_{d6}=\frac{4\times\cos45^{\circ}+8\times\cos15^{\circ}}{12}=0.88$

因 $y=6$，4 极时，$K_{y4}=\cos30^{\circ}=0.866$

所以，短距系数为　$K_{y6}=1$

绕组系数为　$K_{W4}=0.83\times0.866=0.72$

$K_{W6}=0.88\times1=0.88$

与前例相比，6 极时的绕组系数大为提高，而 4 极时相应降低，从而使两种转速下功率相近，适用于两种转速功率要求均高的场合。

第四节　换相法和变节距法举例

反向法排列多速电动机绕组虽然优点很多，但是绕组分布系数总是受到一定限制，因而电动机的性能受到一定影响，特别排列 3 速以上的多速电动机更为突出。换相法和变节距法就弥补了反向法的不足。本节仅就这两种方法举两个例证，供读者参考。

一、换相法的绕组排列例证

用换相法时，变极时不仅改变部分线圈电流方向，而且改变部分线圈的相号。用换相法获得的单绕组多速电动机方案，不同极数的分布系数都可保持较高。现举例说明。

【例 3-6】　安排 36 槽 2/4/6 极单绕组多速电动机的绕组。

换相法排列绕组最主要的问题是如何在接线上实现绕组方案。除了一般的△或Y联结外，这里采用△联结和Y联结结合起来的特殊方法。本例的 2 极和 4 极采用此联结。6 极时则仍为一般的 3 Y联结（三路Y联结）。

3 种极数下绕组槽矢量星形图如图 3-21 所示。圆形接线简图如图 3-22 所示。原理接线图则如图 3-23 所示。

从以上槽矢量星形图和接线图中不难看出，当改极时，部分绕组 1-2-3-4 线圈组，2 极时属 U 相；4 极时则属 V 相；6 极时又属 W 相。这样，接线是复杂一些，但是三种极数的绕组分布系数都较高。2 极时，$K_{dY}=0.981$，$K_{d\triangle}=0.966$；4 极时，$K_{dY}=0.925$，$K_{d\triangle}=0.911$；6 极时，$K_{d}=0.836$。而且三个极数的转向相同。

换向法的主要缺点是出线头较多，上例的引出线共 13 根。在使用和控制时不如反向法方便。

图 3-21　3 种极数下的槽矢量星形图
a）2 极　b）4 极　c）6 极

二、变节距法的绕组例证

单一绕组用两种不同节距相结合，也可以达到变极的目的。这种变极方法叫作变节距法。用这种方法获得的单绕组三速电动机，出线头为 9 根，比换相法少，分布系数也很高。现举例说明。

【例 3-7】　将 36 槽定子嵌放成 2/4/8 极三速单绕组。

对此，先选定 2 极为正规 60°相带绕组，用庶极接法获得 4 极。将 2/4 极计算出的 $y=9(1-10)$，

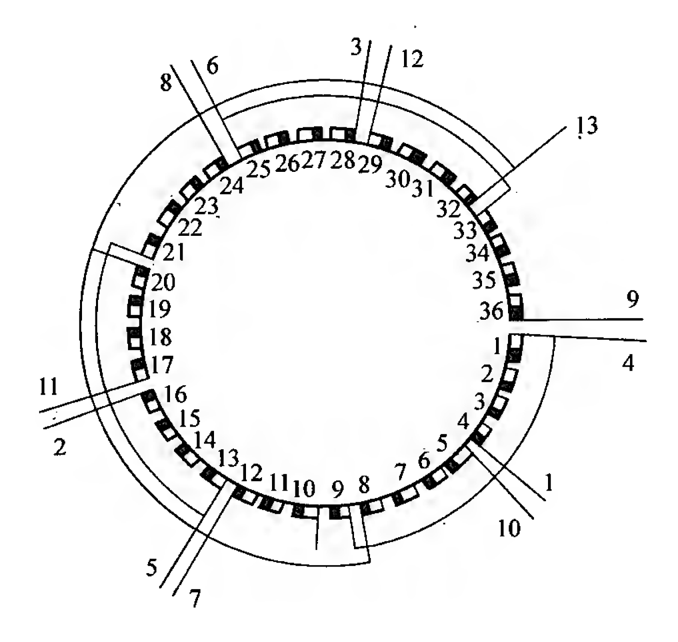


图 3-22　2/4/6 极速电动机定子绕组圆形简化接线图

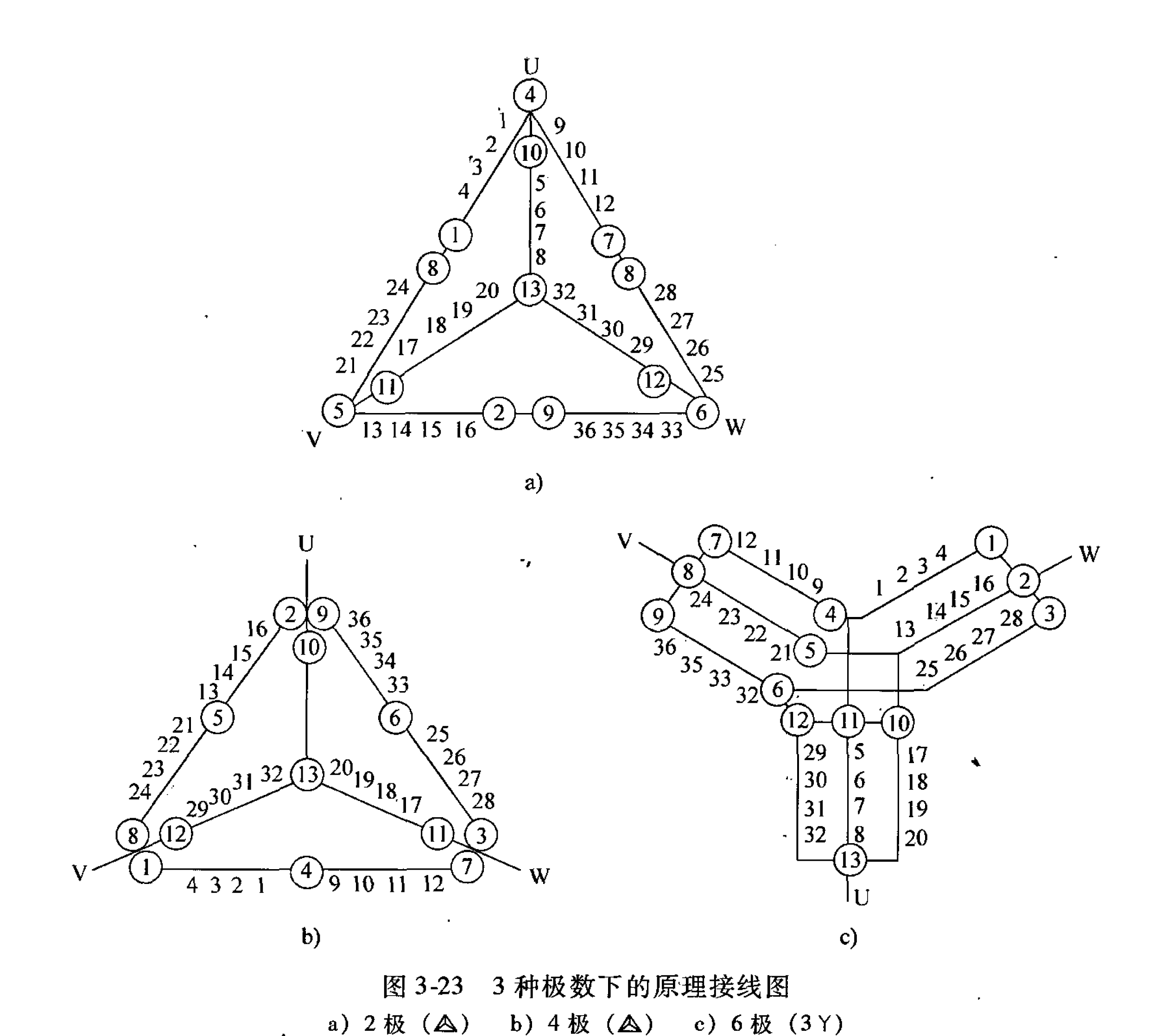


图 3-23　3 种极数下的原理接线图

a) 2 极（△）　b) 4 极（△）　c) 6 极（3Y）

6 个线圈为一个极相组，改为两个极相组一组三个线圈连绕，其节距为 $y_1=6$；另一组三个线圈为连绕，节距 $y_2=12$（1－13），这两种不同节距的绕组对 2、4 极没有影响，但却保证了在庶极接法的 4 极基础上能够再通过反向获得 8 极。36 槽 2/4/8 极用变节距法获得的绕组排列，见表 3-5。

表 3-5　36 槽 2/4/8 极三速绕组排列表

槽号	①	②	③	4	5	6	⑦	⑧	⑨	10	11	12	13	14	15	16	17	18
2 极	U	U	U	U	U	U	－W	－W	－W	－W	－W	－W	V	V	V	V	V	V
4 极	U	U	U	U	U	U	W	W	W	W	W	W	V	V	V	V	V	V
8 极	U	U	U	－U	－U	－U	W	W	W	－W	－W	－W	V	V	V	－V	－V	－V
槽号	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
2 极	－U	－U	－U	－U	－U	－U	W	W	W	W	W	W	－V	－V	－V	－V	－V	－V
4 极	U	U	U	U	U	U	W	W	W	W	W	W	V	V	V	V	V	V
8 极	U	U	U	－U	－U	－U	W	W	W	－W	－W	－W	V	V	V	－V	－V	－V

注：表中槽号带圈的 $y=12$，不带圈的 $y=6$。

用变节距法获得多速电动机绕组方案，其不同节距只是体现在绕制和嵌放线圈中，线圈在变极时的反向与反向法一样，所以绕组接线和反向法相同。本例采用 2△/2△/2 Y联结，引出线为 9 根。此方案在 2、8 极时转向相同，4 极时转向相反。

各极下的矢量星形图如图 3-24 所示。绕组圆形接线简图及绕组展开图如图 3-25 所示。各极的接线原理图如图 3-26 和图 3-27 所示。

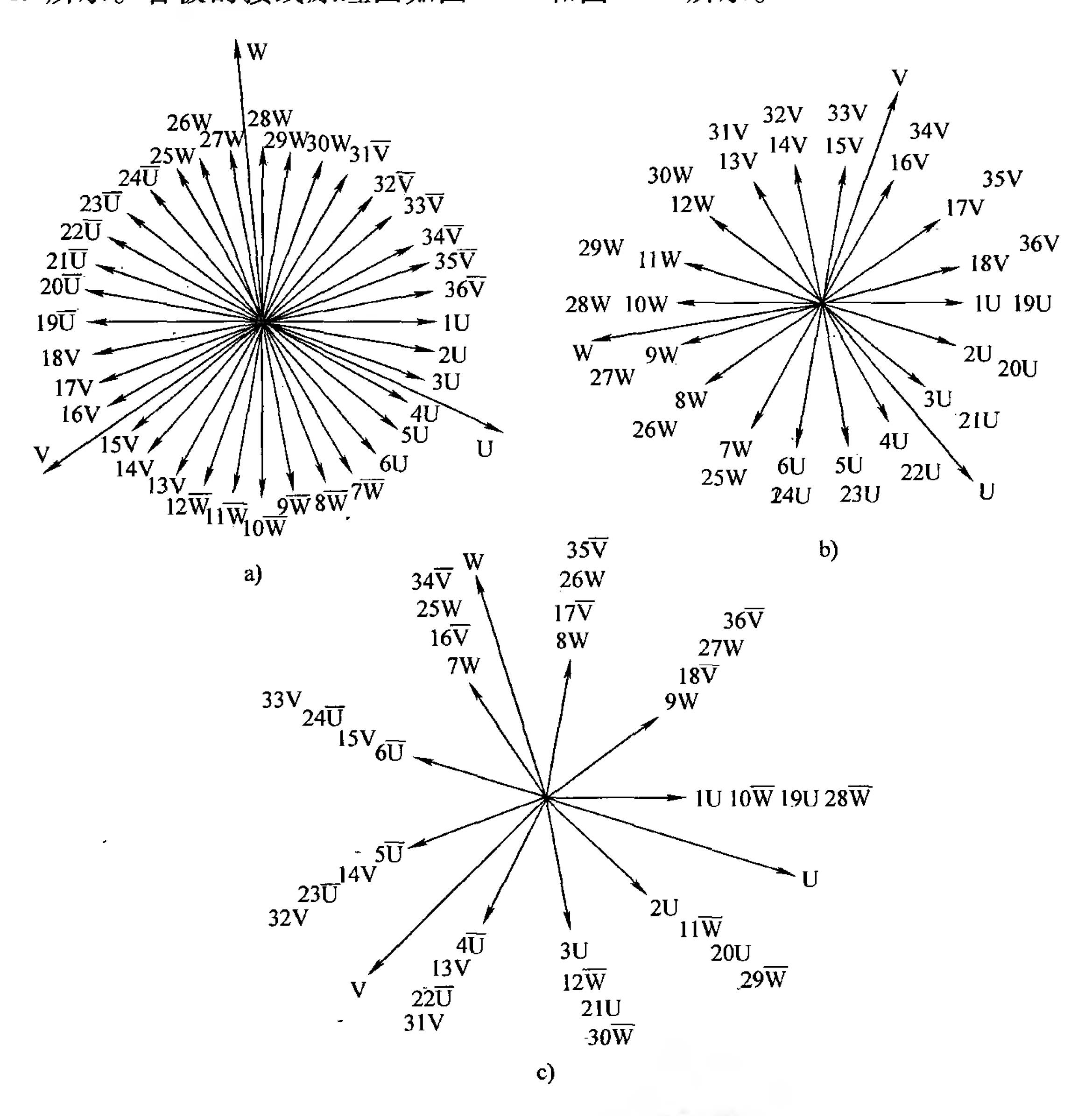


图 3-24　2/4/8 极变节距各极下槽矢量星形图
a) 2 极　b) 4 极　c) 8 极

该绕组的绕组系数通过计算结果如下（节距 1-7，1-13）：

2 极：$K_d=0.956$，$K_y=0.707$，$K_{W2}=0.676$

4 极：$K_d=0.83$，$K_y=1$，$K_{W4}=0.83$

8 极：$K_d=0.731$，$K_y=0.866$，$K_{W8}=0.633$

a)

b)

图 3-25　2/4/8 极变节距法绕组圆形简化接线图及展开图

a）圆形简化接线图　b）U 相展开图

注：图中槽号带 * 者 $y=12$；不带 * 者 $y=6$。

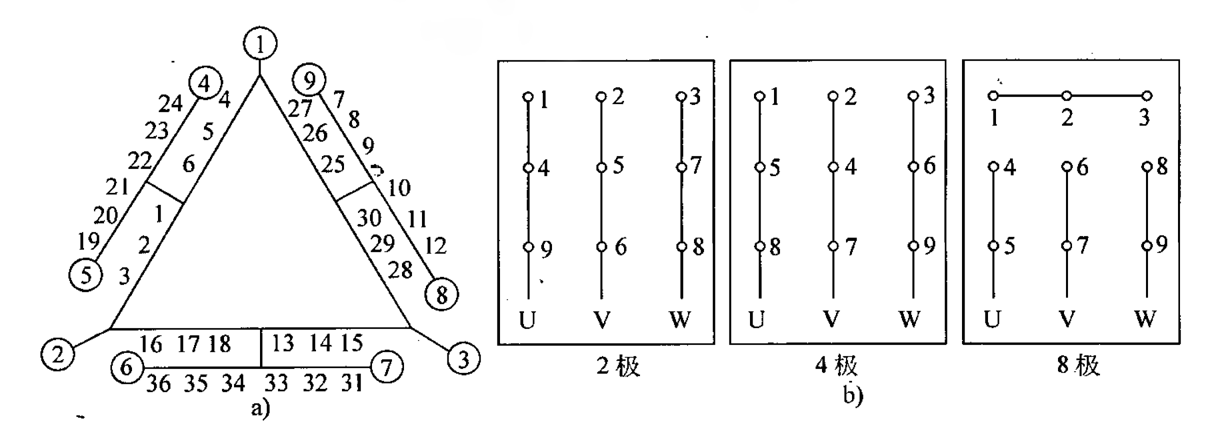


图 3-26　2/4/8 极电动机出线盒定子端线接线图（2△/2△/2Y）

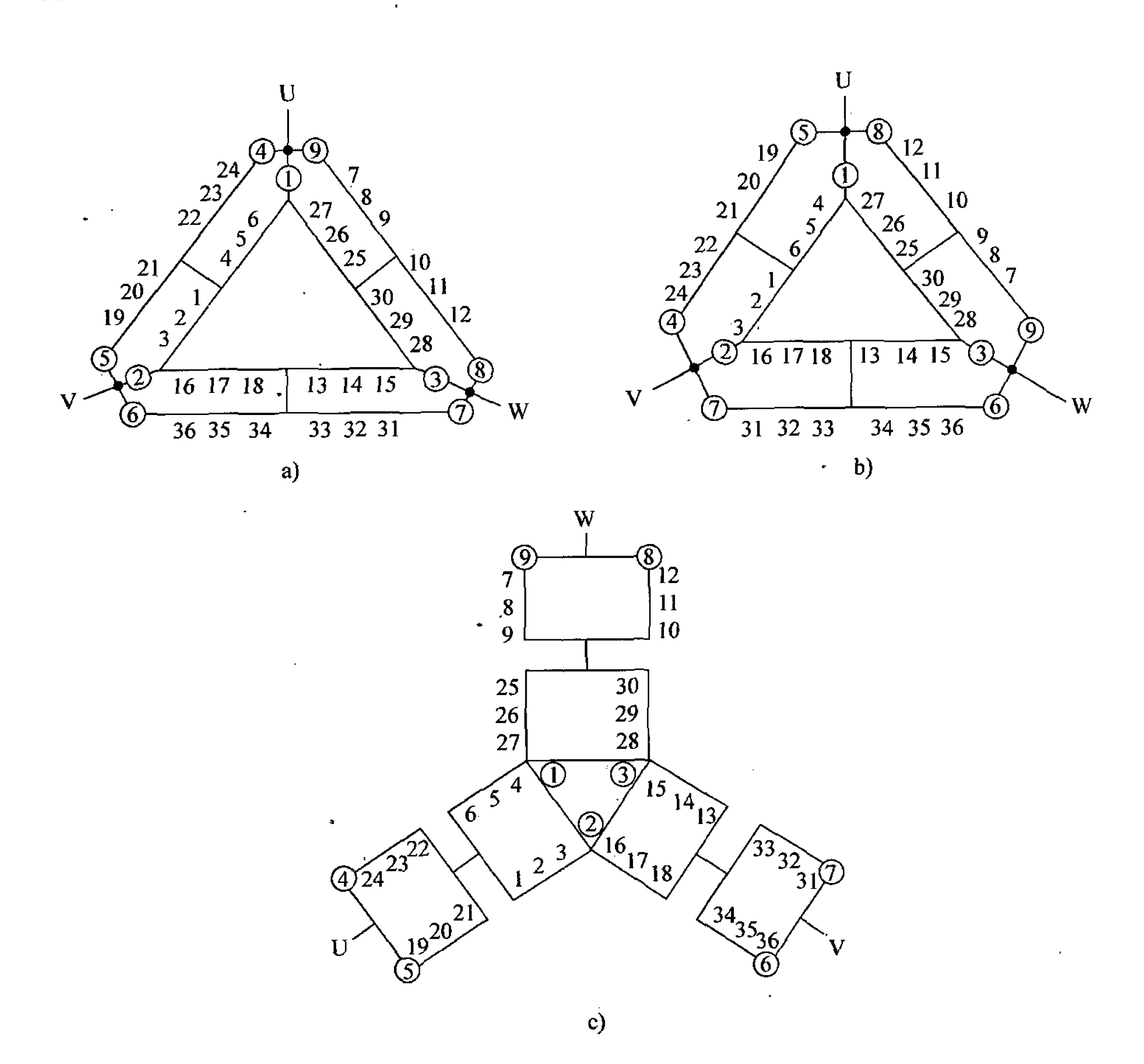


图 3-27　2/4/8 极的各极原理接线图

a）2 极（2△）　b）4 极（2△）　c）8 极（2Y）

第四章　单相异步电动机绕组的嵌放

第一节　单相异步电动机定子绕组

单相异步电动机是用单相交流电源供电的一类电动机，与三相异步电动机的基本原理和结构类似，定子绕组通入交流电流后，便产生旋转磁场，使笼型转子产生感应电流及转矩，以低于旋转磁场的转速异步旋转。这类电动机和三相异步电动机最主要的区别是定子绕组。三相异步电动机定子上嵌放三相对称绕组，而单相异步电动机的定子上嵌放着两相绕组，一相绕组称主绕组（又称工作绕组），另一相绕组称副绕组（有时称起动绕组），这两相绕组在单相交流电源电压的作用下，产生两相交流电流（两相电流必须有一定的相位差），这样，在电动机内才产生旋转磁场，保证电动机正常旋转工作。

单相异步电动机的主要优点是：结构简单，成本低廉，且特别适用于普通民用电源，所以除在各类工农业生产工具上、仪器仪表等处应用外，更多地用在家用电器、商业服务及办公用具等设备上。但由于比三相异步电动机的技术指标差，所以单相异步电动机的容量做得都比较小，一般在 2kW 以下。

一、单相异步电动机的分类

根据定子两相绕组产生旋转磁场的方法不同，以及两相绕组在电动机工作时所起的作用不同，单相电动机有两大类：一类是分相（裂相）电动机，一类是罩极电动机。

1．分相电动机

又称裂相电动机。根据异步电动机产生旋转磁场的原理，定子上要有两相在空间互差 90°电角度的绕组，两相绕组中分别通入两相（有一定的相位差）交流电流后，才能产生旋转磁场。第一个条件在绕组嵌放时可保证，第二个条件的实现是靠两相绕组的阻抗性质和大小不同而获得。这就是“分相”的含义。常见的分相方法有两种，一种是电阻分相，绕制的主绕组线径粗、匝数多，而副绕组导线细、匝数少，或者在副绕组外串一个电阻，这样，两相绕组并联后接在单相交流电源上，两绕组上的电流就有相位差。这种分相的两相电流相位差小于 90°。另一种是电容分相，即在副绕组上外串一个适当的电容器，这样两绕组并联后，两相电流也有相位差，且相位差可达到 90°。电容分相比电阻分相产生的旋转磁场要好。

分相电动机根据起动和运行方式的特点不同又分为 4 种：

（1）电阻分相起动电动机　国产代号为：JZ、BO、BO_2。副绕组还串联一个开关（离心开关或电磁开关），起动时开关闭合，主、副绕组共同作用，使电动机起动。当电动机的转速达到同步转速的 75% ~80% 时，开关断开，副绕组切离电源，运行时只靠工作绕组。这种电动机的功率一般在 40 ~370W。

（2）电容分相起动电动机　国产代号为：JY、CO、CO_2。副绕组与外接电容串联并串接开关，再与主绕组并联后接入交流电源。同样当转速达到同步转速的 75% ~80% 时，开关打开，副绕组被切除，只靠主绕组工作。这种电动机的功率在 120 ~750W。

（3）电容分相运转电动机　国产代号为：JX、DO、DO_2。副绕组只外串电容器再和主绕组并联接入交流电源，电动机起动和运转时，主、副绕组共同工作。这种电动机较之其他形式的电动机结构简单，运转性能好，但起动转矩小，功率在小于 180W 的范围。

（4）电容分相起动运转电动机　国产代号为：YL 或 E。副绕组和两个相互并联的电容器串联，其中一个电容器上串接开关。只在起动时工作，称起动电容器。起动完毕，开关将其断开。另一个电容器始终参与副绕组工作，称运转电容器，且起动电容器容量大，运转电容器的容量小。这种电动机综合了电容起动电动机和电容运转电动机的优点，有比较好的起动性能和运转性能。容量可达到 1.5 ~2.2kW。

2. 单相罩极式电动机

国产代号为：F。

单相罩极式电动机分凸极式和隐极式两种。

凸极式罩极电动机采用凸极定子，主绕组是集中绕组，而副绕组是一个单匝短路铜环，嵌放在磁极的极面一侧，罩住部分极面，故称罩极电动机。这类电动机结构简单，但性能较差。电动机功率在 20 ~90W。

隐极式罩极电动机的定子绕组采用分布绕组，主绕组分布于定子槽中，副绕组是较粗绝缘电磁线（一般用 ϕ0.8 ~ ϕ1.5mm）绕制成几匝（一般为 2 ~8 匝）线圈自行短接。分布的槽数占总槽数的 1/3，且和主绕组在空间互差（30° ~60°）电角度。这类电动机的功率在 0.5 ~120W。

几种单相异步电动机列于表 4-1 中，请读者自行比较。

二、单相异步电动机定子绕组的嵌绕原则及主要类型

1. 定子绕组的嵌绕原则和特点

（1）对分相式单相电动机定子的主副绕组在空间要互差 90°电角度。对罩极单相电动机，凸极式罩极线圈要罩住极面的 1/3 ~1/2，且根据电动机的转向，每个罩极线圈均放在每极的相同侧面。对隐极式电动机，罩极线圈与主绕组空间

表 4-1 几种常用单相电动机比较表

比较项目 \ 电动机		电阻分相起动电动机	电容分相起动电动机	电容分相运转电动机	电容分相起动运转电动机	单相罩极电动机
电动机的结构	定子绕组组成	运转绕组、起动绕组	运转绕组、起动绕组	主绕组、副绕组	主绕组、副绕组	主绕组、罩极线圈
	转 子	笼 型	笼 型	笼 型	笼 型	笼 型
	起动装置	起动继电器或离心开关	起动继电器或离心开关	—	起动继电器或离心开关	—
	辅助装置	—	起动用电容器	运转用电容器	起动和运转用电容器	—
	等效电路	起动 主 ~U S	起动 C 主 ~U S	副 C 主 ~U	副 C_2 C_1 主 ~U S	罩 主~U
电动机的特性	起动电流 I_{st}/I_e	6~7	4~5	3~5	4~5	2~4
	转矩特性曲线	n n_1 O T	n n_1 O T	n n_1 O T	n n_1 O T	n n_1 O T
	起动转矩 T_{st}/T_e	1.2~2	2.5~3.5	0.3~1	2.5~3.5	0.3~0.8
	功率因数	0.4~0.75	0.4~0.75	0.7~1	0.8~1	0.4~0.75
主要优缺点		1）价格低，应用广泛 2）起动电流大，起动转矩较小	1）造价稍高 2）起动电流较大，起动转矩较大	1）无起动装置，结构较简单，工作可靠 2）功率因数较高 3）起动转矩较小	1）附件多，结构复杂，价格较高 2）起动电流大 3）起动转矩较大 4）功率因数高	1）结构简单，价格低，工作可靠 2）起动转矩小 3）效率低
应用范围		1）单相鼓风机 2）起动转矩小的一般动力，如钻床、研磨机、搅拌机等	1）起动转矩要求大的场合 2）用于压缩机、冷冻机、井泵等	1）起动转矩小的场合，如电风扇 2）用于起动与停止频繁的场合 3）需要正反转的场合	1）用于起动转矩大的机械 2）要求功率因数高的场合	1）功率小，用于要求起动转矩小的场合 2）多用于风扇、电唱机、仪器仪表等

互差 30°～60°，常取 45°电角度。

（2）由于单相电动机的功率不大，且大多为 2 极或 4 极，所以定子绕组的嵌放选择力求工艺简单，操作方便。

（3）分相式电动机主、副绕组的线径、匝数、节距等不一定完全相同，因功率不同，起动和运行方式不同。

2．定子绕组的类型

由于电动机的类型和功率大小不同，定子绕组常用几种形式：单层同心式、单层链式、单层交叉式、单双层叠绕组、双层叠绕组等，为改善电动机性能，现在尽可能采用正弦绕组。有的小功率电动机为工艺简单而采用了单叠绕组，还有电动机定子绕组用显极式，也有的用庶极式布线。采用哪种形式绕组均因电动机具体情况而定。

第二节　单相电动机的正弦绕组

单相异步电动机的定子绕组大多采用了正弦绕组。所谓正弦绕组，其布线形式亦为同心式，但各线圈安排的匝数不同，是按正弦规律布线分配的。这种绕组的采用，能有效地抑制单相电动机的 3、5、7 次高次谐波，改善了电动机的电气性能；绕组的平均匝长短了，节省了材料，且嵌绕方便，很有普及价值。

一、正弦绕组的安排类型

正弦绕组每极线圈的安排类型有 A 类和 B 类两种。

1．A 类安排

如图 4-1a 所示，同心线圈组中最大线圈的节距等于极距，因此相邻两组的大线圈将重叠于一个槽，该槽为双层线圈，线圈匝数等于该槽分配匝数的一半。在每极线圈相等的条件下，A 类安排的绕组系数稍高，且电气性能稍优，但工艺性略差。

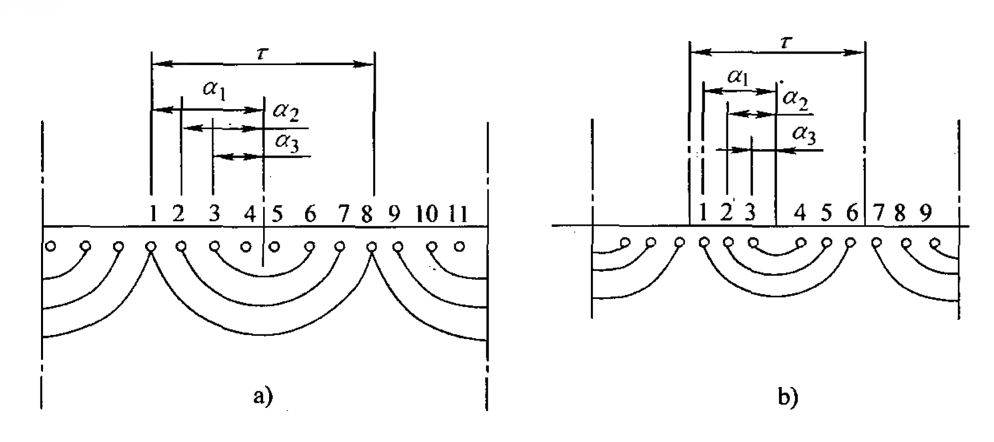


图 4-1　单相正弦绕组的安排类型
a）A 类安排　b）B 类安排

2. B 类安排

如图 4-1b 所示，最大线圈的节距小于极距 1 槽，同相相邻两组没有重叠线圈，故工艺性好，但绕组系数和电气性能稍差。

二、正弦绕组的布线

正弦绕组的主副绕组占槽没有普通单层绕组的固定比例，而是根据设计需要而选择不同的布线方案。

1. 满圈布线

满圈是一相绕组每极线圈数等于每极槽数（即 $S_p = \frac{Q}{2\times 2P}$），满圈布线使正弦绕组呈双层形式，如图4-2所示。满圈正弦绕组能使电动机的磁场在气隙中获得较完整的正弦布线，从而改善电动机的电气性能，但绕组系数较低，电动机的用铜量增加。

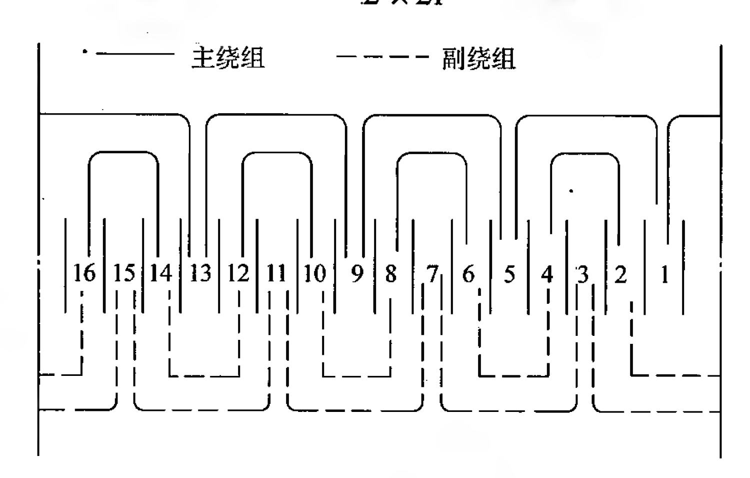


图 4-2　正弦绕组的满圈布线

2. 缺圈布线

当一相绕组每极线圈小于每极槽数时称为缺圈布线。缺圈数无规定，但缺圈增多则绕组系数也提高，而电气性能随之下降。通常，为使线圈更有效地发挥电磁效能，所缺线圈应从小线圈减除。这时，缺圈正弦绕组则成为线圈不等匝的单双层混合结构，而缺圈越多，则绕组中的单层线圈越多。图4-3 所示为缺圈布线的一例。

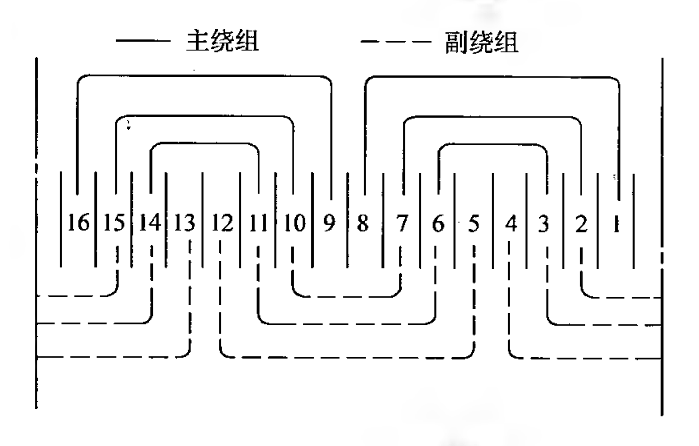


图 4-3　正弦绕组的缺圈布线

3. 主、副绕组的布线

正弦绕组的主、副绕组可根据设计而选用 A 类或 B 类安排，也可根据电动机性能而选用满圈或缺圈。但若电动机修理重绕时，要按原来的布线形式，不宜改动。主副绕组在空间的安排也必须满足互差 90°电角度的要求，如图 4-2 和图 4-3 所示。至于每相的进线从每极同心线圈组的大圈或小圈引出，则遵从各人的操作习惯。本书采用的大众习惯是由大线圈进线。

三、正弦绕组的线圈匝数分配

正弦绕组每极（主或副绕组）匝数是根据定子电磁参数确定，与一般单相电动机的算法基本相同。

若　电动机的主绕组每极总匝数为 N_{mp}，导线截面积为 S_m

则　电动机的副绕组每极总匝数 N_{np} 和导线截面积 S_n 为

电阻分相起动和电容分相起动式　$N_{np}=(0.5\sim0.7)N_{mp}$

$$S_n=(0.5\sim0.25)S_m$$

电容运转式

$$N_{np}=(1\sim1.3)N_{mp}$$

$$S_n=\frac{S_m}{1\sim1.3}$$

当每极总匝数 N_{mp} 和 N_{np} 确定后，通常采用下列两种方法中的一种来确定各线圈的匝数分配。

1．查阅布线方案表

各线圈所分配的匝数可由下式算出：

$$N_y=K_yN_p$$

式中，N_y 为节距为 y 的线圈匝数（匝）；N_p 为正弦绕组的每极匝数（匝）；K_y 为每极线圈分布匝比。

选择布线方案查表 4-2。

【例 4-1】　某电容运转电动机 $Q=24$ 槽，$2p=4$，主绕组每极匝数 $N_{mp}=209$ 匝，试算出主绕组每极线圈的匝数分配。

解：计算每极槽数，每极所占槽数实质为极距，故

$$\tau=\frac{Q}{2p}=\frac{24}{4}\text{槽}=6\ \text{槽}$$

查表 4-2 选用方案 4，布线类型为 3A 型，绕组系数 $K_W=0.804$，各线圈匝数比分别为 $K_1=26.8\%$，$K_2=46.4\%$，$K_3=26.8\%$。

这样：线圈 $y=(1-7)$ 的匝数　$N_{1-7}=K_1N_{mp}=0.268\times209$ 匝 $=56$ 匝

　　　线圈 $y=(2-6)$ 的匝数　$N_{2-6}=K_2N_{mp}=0.464\times209$ 匝 $=97$ 匝

　　　线圈 $y=(3-5)$ 的匝数　$N_{3-5}=K_3N_{mp}=0.268\times209$ 匝 $=56$ 匝

2．简单计算法来确定

（1）计算各同心线圈的正弦值

$$\sin(x-x)=\sin\left(\frac{y(x-x)}{2}\times\frac{\pi}{\tau}\right)$$

表 4-2 单相正弦绕组方案及匝数分布表

方案序号	每极槽数	布线类型	每极各槽线圈匝数比 K_y(%) 每极槽号 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	绕组系数 K_W
1	3	2A	50	50	50	50																0.750
2	4	2A	41.4	58.6		58.6	41.4															0.828
3	6	2A	36.6	63.4				63.4	36.6													0.915
4		3A	26.8	46.4	26.8		26.8	46.4	26.8													0.804
5	8	2A	35.2	64.8						64.8	35.2											0.905
6		3A	23.5	43.4	33.1				33.1	43.4	23.5											0.87
7		4A	19.9	36.8	28.0	15.3		15.3	28.0	36.8	19.9											0.796
8	9	2A	34.7	65.3							65.3	34.7										0.960
9		3A	22.7	42.6	34.7					34.7	42.6	22.7										0.893
10		4A	18.5	34.7	28.3	18.5			18.5	28.3	34.7	18.5										0.820
11	12	2A	34.1	65.9										65.9	34.1							0.978
12		3A	21.4	41.4	37.2								37.2	41.4	21.4							0.936
13		4A	16.4	31.8	28.5	23.3						23.3	28.5	31.8	16.4							0.833
14		5A	14.1	27.3	24.5	20.0	14.1				14.1	20.0	24.5	27.3	14.1							0.829
15		6A	13.2	25.4	22.8	18.6	13.2	6.8		6.8	13.2	18.6	22.8	25.4	13.2							0.790
16	16	3A	20.8	40.8	38.4												38.4	40.8	20.8			0.963
17		4A	15.5	30.3	28.5	25.7										25.7	28.5	30.3	15.5			0.929
18		5A	12.7	24.9	23.4	21.1	17.9								17.9	21.1	23.4	24.9	12.7			0.889
19		6A	11.1	21.8	20.5	18.5	15.7	12.4						12.4	15.7	18.5	20.5	21.8	11.1			0.848
20		7A	10.3	20.0	18.9	17.2	14.4	11.3	7.9				7.9	11.3	14.4	17.2	18.9	20.0	10.3			0.812
21	18	4A	15.2	29.9	28.6	26.3												26.3	28.6	29.9	15.2	0.943
22		5A	12.3	24.3	23.2	21.3	18.9										18.9	21.3	23.2	24.3	12.3	0.910
23		6A	10.6	20.9	20.0	18.4	16.4	13.7								13.7	16.4	18.4	20.0	20.9	10.6	0.873
24		7A	9.6	18.9	18.1	16.7	14.7	12.4	9.6						9.6	12.4	14.7	16.7	18.1	18.9	9.6	0.837
25		8A	9.0	17.8	17.0	15.7	13.8	11.6	9.0	6.1				6.1	9.0	11.6	13.8	15.7	17.0	17.8	9.0	0.806

（续）

方案序号	每极槽数	布线类型	每极各槽线圈匝数比 K_y（%）																			绕组系数 K_W
			每极槽号																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
26	6	2B	57.7	42.3			42.3	57.7														0.856
27		3B	50.0	36.6	13.4	13.4	36.6	50.0														0.776
28	8	2B	54.2	45.8					45.8	54.2												0.912
29		3B	41.1	35.1	23.8			23.8	35.1	41.1												0.827
30	9	2B	52.2	47.8						47.8	52.2											0.928
31		3B	39.5	34.8	25.7				25.7	34.8	39.5											0.856
32		4B	34.6	30.6	22.7	12.1		12.1	22.7	30.6	34.6											0.793
33	12	2B	51.8	48.2									48.2	51.8								0.959
34		3B	36.6	34.1	29.3							29.3	34.1	36.6								0.910
35		4B	29.9	27.8	24.0	18.3					18.3	24.0	27.8	29.9								0.855
36		5B	26.8	25.0	21.4	16.5	10.3			10.3	16.5	21.4	25.0	26.8								0.806
37		6B	25.9	24.1	20.7	15.9	10.0	3.4	3.4	10.0	15.9	20.7	24.1	25.9								0.783
38	16	3B	35.1	33.8	31.1											31.1	33.8	35.1				0.947
39		4B	27.6	26.5	24.5	21.4									21.4	24.5	26.5	27.6				0.910
40		5B	23.5	22.6	20.8	18.2	14.9							14.9	18.2	20.8	22.6	23.5				0.869
41		6B	21.1	20.4	18.7	16.4	13.4	10.0					10.0	13.4	16.4	18.7	20.4	21.1				0.829
42		7B	19.9	19.2	17.6	15.4	12.7	9.4	5.8			5.8	9.4	12.7	15.4	17.6	19.2	19.9				0.798
43	18	3B	34.7	33.7	31.6													31.6	33.7	34.7		0.958
44		4B	27.0	26.2	24.6	22.2											22.2	24.6	26.2	27.0		0.927
45		5B	22.7	22.0	20.6	18.6	16.1									16.1	18.6	20.6	22.0	22.7		0.892
46		6B	20.1	19.5	18.2	16.5	14.2	11.5							11.5	14.2	16.5	18.2	19.5	20.1		0.855
47		7B	18.5	17.9	16.8	15.2	13.2	10.6	7.8					7.8	10.6	13.2	15.2	16.8	17.9	18.5		0.821
48		8B	17.6	17.1	16.0	14.5	12.5	10.2	7.5	4.6			4.6	7.5	10.2	12.5	14.5	16.0	17.1	17.6		0.795

式中，$\sin(x-x)$为某一同心线圈的正弦值；$y\ (x-x)$ 为该线圈的节距（槽数）；τ为极距（槽数）。

（2）计算每极下线圈的总正弦值

$$\sum\sin(x-x)=\sin(x_1-x_1)+\sin(x_2-x_2)+\cdots+\sin(x_n-x_n)$$

（3）各线圈所占的匝数比

$$n(x-x)=\frac{\sin(x-x)}{\sum\sin(x-x)}\times100\%$$

按下式分别求各线圈的匝数：

$$N_m(x-x)=n(x\cdot x)\cdot N_{np}$$

【例 4-2】 某台电容起动电动机，$Q=24$ 槽，$2p=4$，主绕组每极匝数 $N_{mp}=175$ 匝，求此电动机主、副绕组每极下各线圈的匝数。

解：主绕组采用如图 4-4 所示的 3A 型布线，每极线圈组由 3 个同心线圈组成。

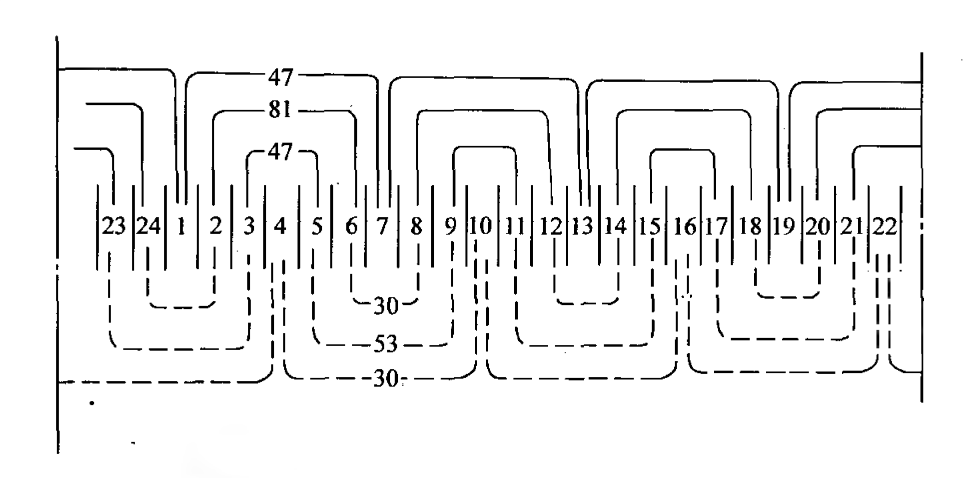


图 4-4　24 槽 4 极单相电容起动电动机定子正弦绕组布线示意图

$$\sin(3-5)=\sin\left(\frac{\gamma(3-5)}{2}\times\frac{\pi}{\tau}\right)=\sin\frac{2}{2}\times\frac{180°}{6}=\sin30°=0.5$$

$$\sin(2-6)=\sin\frac{4}{2}\times\frac{180°}{6}=\sin60°=0.866$$

$$\sin(1-7)=\frac{1}{2}\sin\frac{6}{2}\times\frac{180°}{6}=\frac{1}{2}\sin90°=0.5\ （此线圈占整槽的\frac{1}{2}）$$

总正弦值为

$$\sum\sin(x-x)=0.5+0.866+0.5=1.866$$

各线圈所占的匝数比为

$$n(3-5)=\frac{\sin(3-5)}{\sum\sin(x-x)}\times 100\%=\frac{0.5}{1.866}\times 100\%=26.8\%$$

$$n(2-6)=\frac{0.866}{1.866}=46.6\%$$

$$n(1-7)=\frac{0.5}{1.866}=26.8\%$$

主绕组每圈匝数为

$$N_{m}(3-5)=n(1-3)N_{np}=\frac{26.8}{100}\times 175\text{ 匝}=47\text{ 匝}$$

$$N_{m}(2-6)=\frac{46.4}{100}\times 175\text{ 匝}=81\text{ 匝}$$

$$N_{m}(1-7)=\frac{26.8}{100}\times 175\text{ 匝}=47\text{ 匝}$$

副绕组：

每极匝数 $N_{np}=0.65N_{mp}=114$ 匝

由于副绕组和主绕组布线相同，各线圈匝数比相同。所以各线圈的匝数为

$$N_{n}(6-8)=114\times\frac{26.8}{100}\text{匝}=30\text{ 匝}$$

$$N_{n}(5-9)=114\times\frac{46.4}{100}\text{匝}=53\text{ 匝}$$

$$N_{n}(4-10)=114\times\frac{26.8}{100}\text{匝}=30\text{ 匝}$$

四、正弦绕组的嵌线和接线

因为主、副绕组均为正弦同心式绕组，一般采用分层整嵌法。嵌放时，先嵌放主绕组，后嵌放副绕组，主、副绕组端部是两个平面层次分布，又称“双平面”布线。

又因为正弦绕组是显极式布线，接线时分相进行，先接主绕组，后接副绕组。接线规律仍是同相相邻线圈反向串联，即“尾-尾”或“首-首”相连接。

第三节　分相电动机少槽定子绕组的嵌放

单相异步电动机中，定子绕组的形式及布线方式较多，为叙述方便，本书将分相电动机分3种情况说明：①少槽定子绕组，（$Q\leqslant 18$ 槽）；②是多槽定子绕

组（$Q>18$）槽的绕组；③是特种定子绕组。例如，带有调速的绕组、吊扇电动机绕组等。单相罩极电动机绕组单独说明。本节主要介绍分相式少槽定子绕组。因为单相电动机大多是2极或4极，少槽定子绕组的容量小，所以绕组要求简单、工艺方便。下面分别介绍几种。

一、8槽4极定子绕组

这类绕组是家用电扇电动机常用的典型绕组，如需要调速可接电抗器。它的主、副绕组8只线圈构成双层链式绕组，节距短，嵌线比较容易。其绕组展开图如图4-5所示。端视图如图4-6所示。

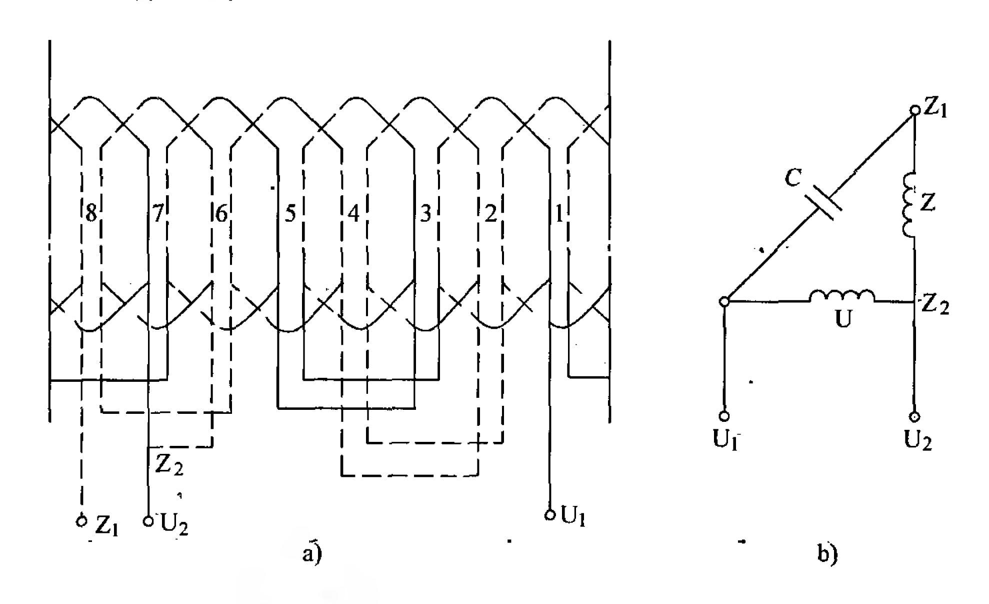


图4-5　8槽4极单相电容运转电动机绕组展示图

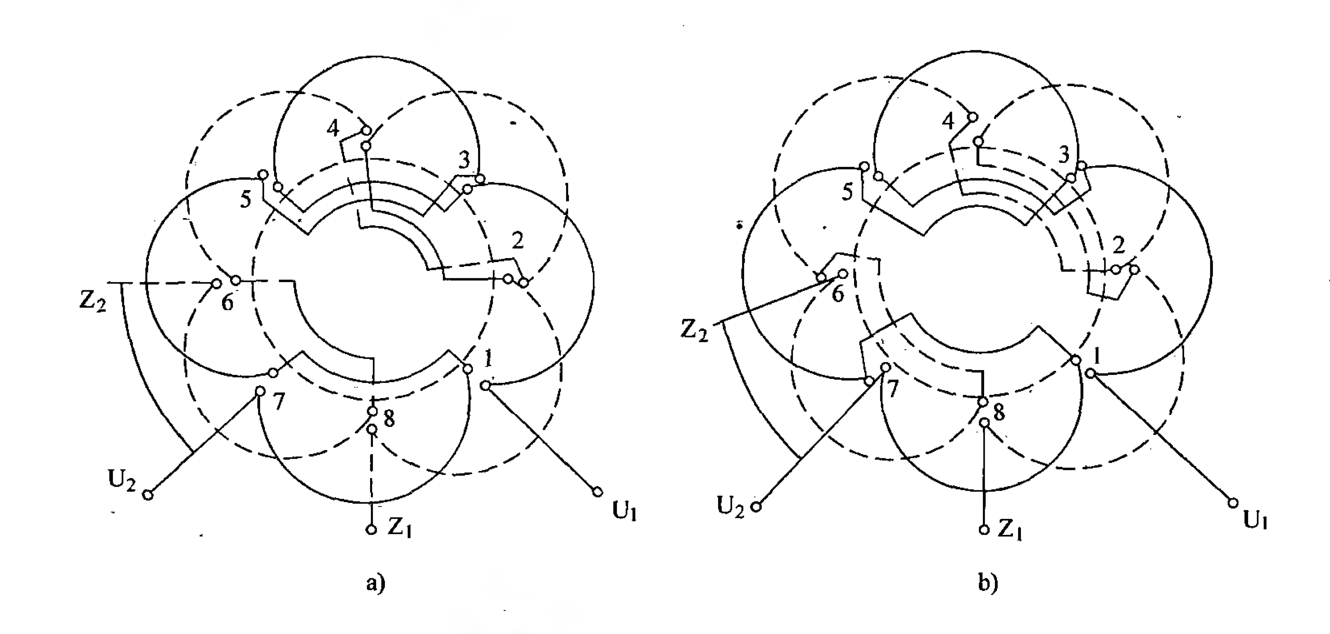


图4-6　8槽4极单相电容运转电动机端视图

此种绕组可采用两种嵌放方法：

1）交叠法　属正规的布线方法。它将主、副绕组线圈交替嵌放，但需要吊起2边，且每个线圈的两个有效边分别处在两槽的上、下层，如图4-6a所示。交叠法嵌线的绕组端部结构紧密，但每只线圈端部均需要放置相间绝缘，嵌线顺序见表4-3。

表4-3　交叠嵌放顺序

嵌放次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下层	7	6	5		4		3		2		1		8			
	上层				7		6		5		4		3		2	1	8

2）分层法：它属简便嵌法，是将主绕组和副绕组分别嵌线，从而形成双平面绕组。可分两种嵌法：

① 分层整嵌法：主、副绕组分层嵌放，但每相线圈则要对称嵌入，使每个线圈两个有效边在槽内的层次相同，其布线情况如图4-6b所示，嵌线顺序见表4-4。

表4-4　分层整嵌法

嵌放次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下平面	1	3	5	7					8	2	4	6				
	上平面					7	1	3	5					6	8	2	4

② 分层交叠法：主、副绕组分层嵌入，但每相线圈是交叠状，故需吊起一边。嵌线顺序见表4-5。

表4-5　分层交叠法

嵌放次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下层	7	5		3		1			6	4		2		8		
	上层			7		5		3	1			6		4		2	8

二、12槽2、4极定子绕组

1. 12槽2极定子绕组

主要在电容运转电动机中应用。为改善电动机性能，绕组常采用正弦同心绕组。下面介绍两种正弦绕组的嵌放。

第一种是A类正弦绕组，图4-7所示为其绕组展开图，图4-8为绕组端视图。

这种绕组的主、副绕组均采用A类满圈安排成双层布线。每极有3只线圈。每相两组线圈是反向串联，即“尾-尾”相连。主要用在单相电容运转电动机中。此绕组的电气性能好，但绕组系数低，且槽内又要层间绝缘，耗工时多。嵌放时采用分层整嵌法，其嵌放顺序见表4-6。

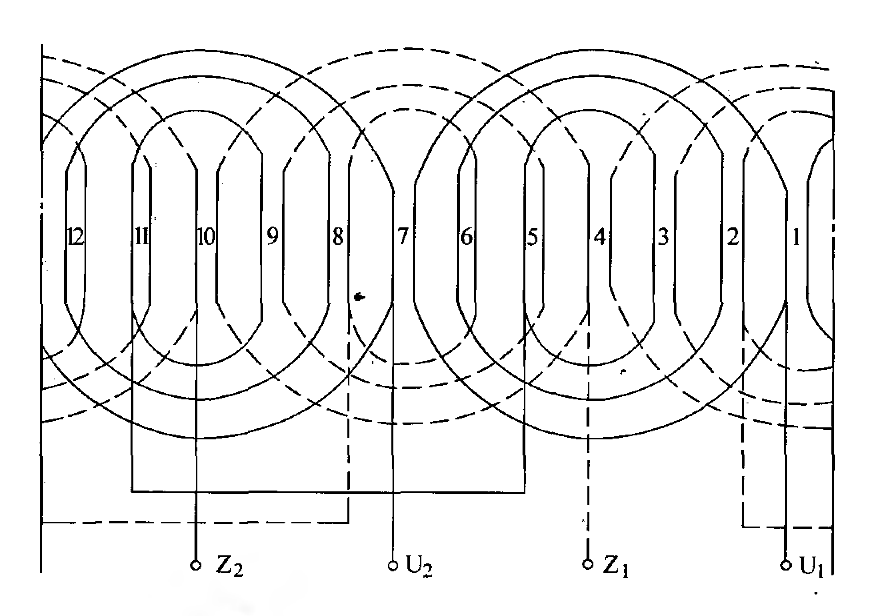


图 4-7　12 槽 2 极单相电动机定子绕组（A 类）展开图

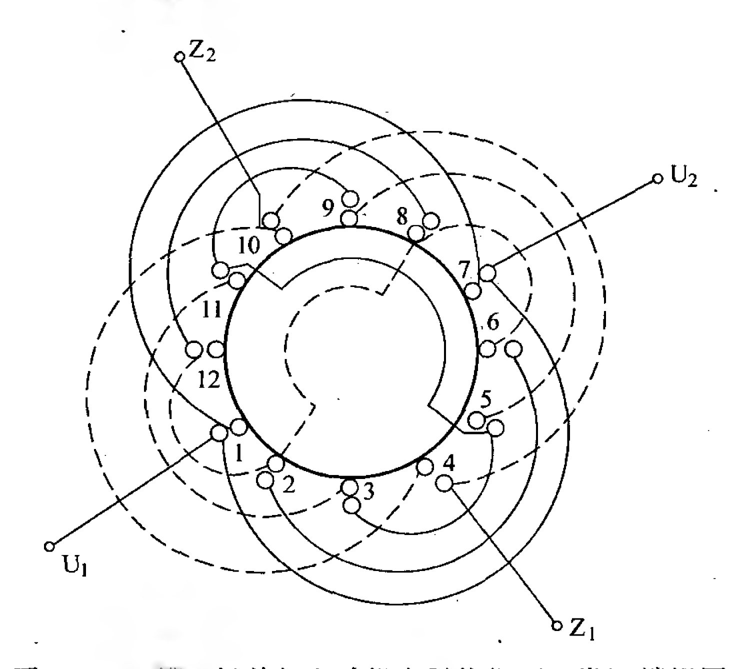


图 4-8　12 槽 2 极单相电动机定子绕组（A 类）端视图

表 4-6　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下层	3	5	2	6	1	7	9	11	8	12		
	上层											7	1
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	下层					4	10						
	上层	6	8	5	9			12	2	11	3	4	10

第二种是 B 类正弦绕组，图 4-9 所示为其绕组展开图。图 4-10 为绕组端视图。

这种绕组的主、副绕组采用相同的布线方案，每相分两组由3个同心线圈组成，最大线圈的节距小于极距，故属B类正弦绕组。也是双层绕组，因最大节距线圈无需同槽嵌放，嵌线不用吊边，且构成完全的两个平面，工艺简单，也主要用于电容运转电动机中。

嵌放采用分层整嵌法，嵌放顺序见表4-7。接线是反向串联，即“尾-尾”连接。

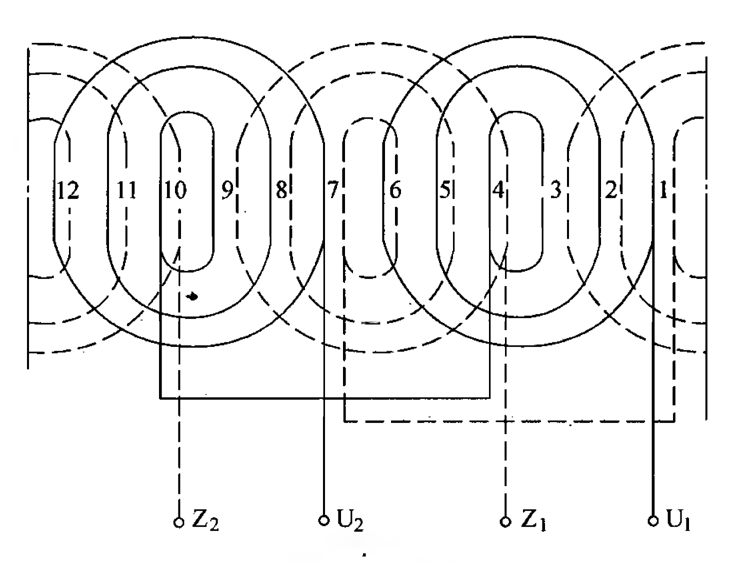


图4-9　12槽2极单相电动机定子绕组（B类）展开图

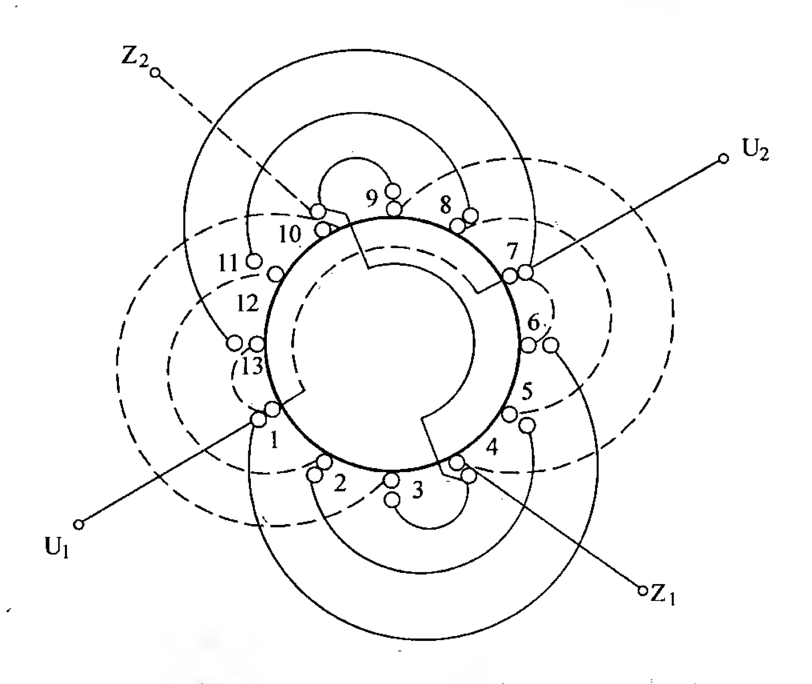


图4-10　12槽2极单相电动机定子绕组（B类）端视图

表4-7　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下平面	3	4	2	5	1	6	9	10	8	11	7	12
	上平面												
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	下平面												
	上平面	6	7	5	8	4	9	12	1	11	2	10	3

2. 12槽4极绕组

此种绕组也在电容运转电动机中应用，在风扇中常见。下面介绍两种嵌放形式。

一种是单双层绕组布线。它的定子铁心外形为方形，双层槽有4个，在铁心的4角位置，且槽面积为其他槽面积的两倍，为异形槽，这样铁心能充分利用。绕组为短节距布线，嵌线方便，且用料较省。在风扇中应用，性能优于8槽电动机，目前是趋于普及使用的绕组形式。

这种绕组的展开图如图4-11所示。端视图如图4-12所示。

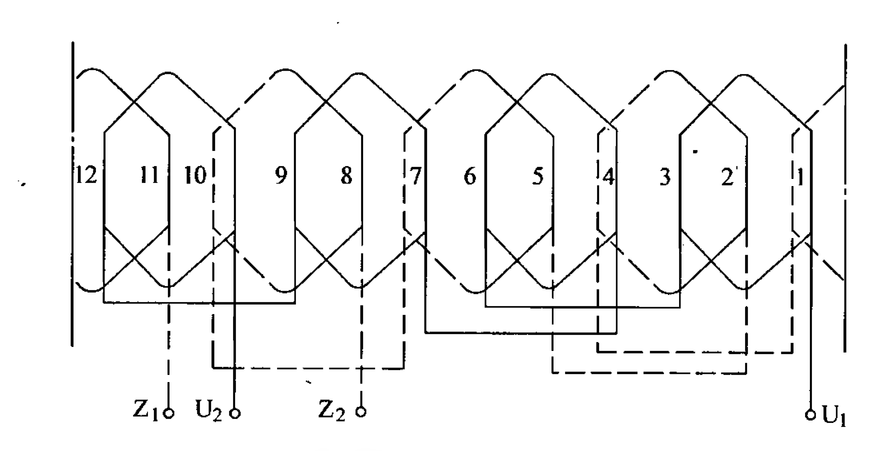


图4-11　12槽4极定子单双层绕组展开图

对此绕组也采用分层整嵌法。且将主、副绕组的4个线圈分别连绕，先嵌放副绕组，再嵌放主绕组。嵌放顺序见表4-8。

第二种是双层同心绕组。此绕组虽然双层，但因线圈少，故嵌放容易；但因槽少，难以形成正弦波气隙磁场，电气性能差些，故常用于小功率的电动机中。

该种绕组的展开图如图4-13所示。端视图如图4-14所示。

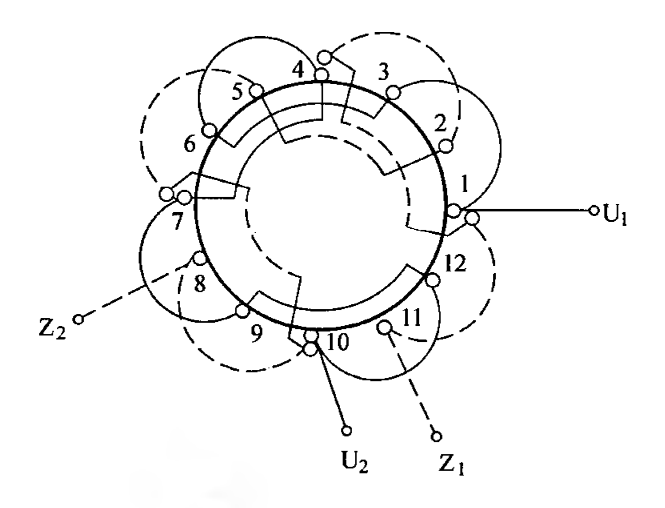


图4-12　12槽4极定子单双层绕组端视图

表4-8　整嵌法

嵌放次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下平面	10	8	7	5	4	2	1	11								
	上平面									12	10	9	7	6	4	3	1

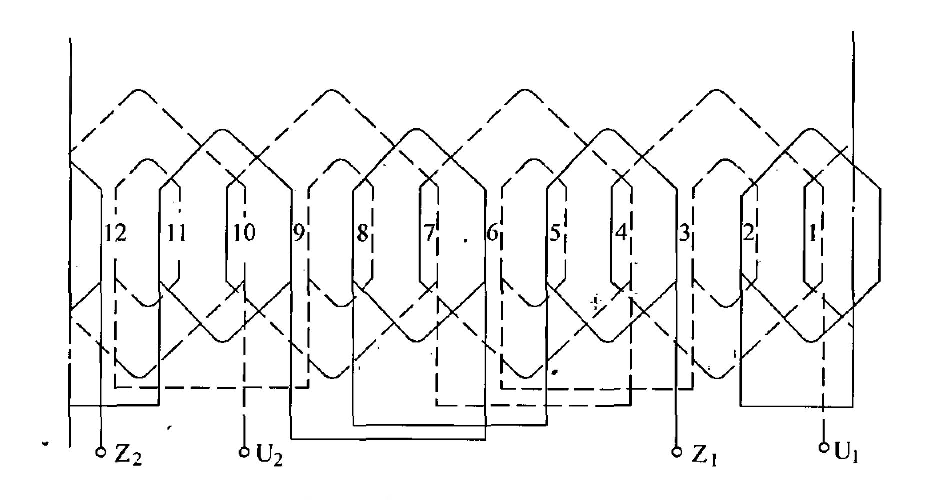


图 4-13　12 槽 4 极定子双层同心绕组展开图

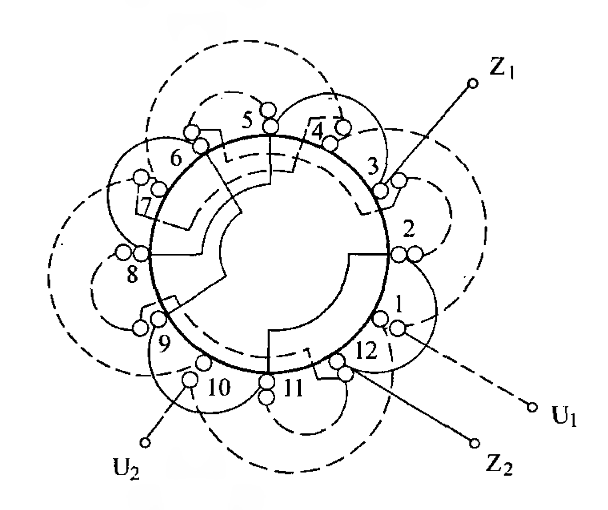


图 4-14　12 槽 4 极定子双层同心绕组端视图

对这种绕组可采用两种嵌放方法：

1）分层交叠法：主、副绕组采用分层嵌线，但主绕组的大线圈是交叠布线，如图 4-14 所示。嵌放顺序见表 4-9。

表 4-9　分层交叠法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下层	11	12	10	8	9	7		5	6	4		2
	上层							10				7	
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	下层	3	1										
	上层			4	1	12	2	9	11	6	8	3	5

2）分层整嵌法：嵌线时，主、副绕组分层嵌放，主绕组的大线圈也采用整圈嵌放，即对称嵌入。嵌放顺序见表 4-10。

表 4-10　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下层	2	3	1	4	8	9	7	10	11	12		
	上层											10	1
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	下层	5	6										
	上层			4	7	12	2	9	11	6	8	3	5

三、16 槽定子绕组

定子 $Q=16$ 的单相电动机也分为 2 极和 4 极两种绕组，下面分别介绍它的绕组安排情况。

1．16 槽 2 极定子绕组

这种绕组主要在电容运转电动机中（8～40W）应用。它的主、副绕组均采用 B 类正弦绕组（同心式），有利于提高电气性能，分层嵌放，工艺简单。绕组展开图如图 4-15 所示。端视图如图 4-16 所示。

绕组的嵌放也采用分层整嵌法，即先嵌主绕组，再嵌副绕组，端部有两个平面，嵌放方便。但有的槽中有两层绕组，为单双层绕组。嵌放顺序见表 4-11。

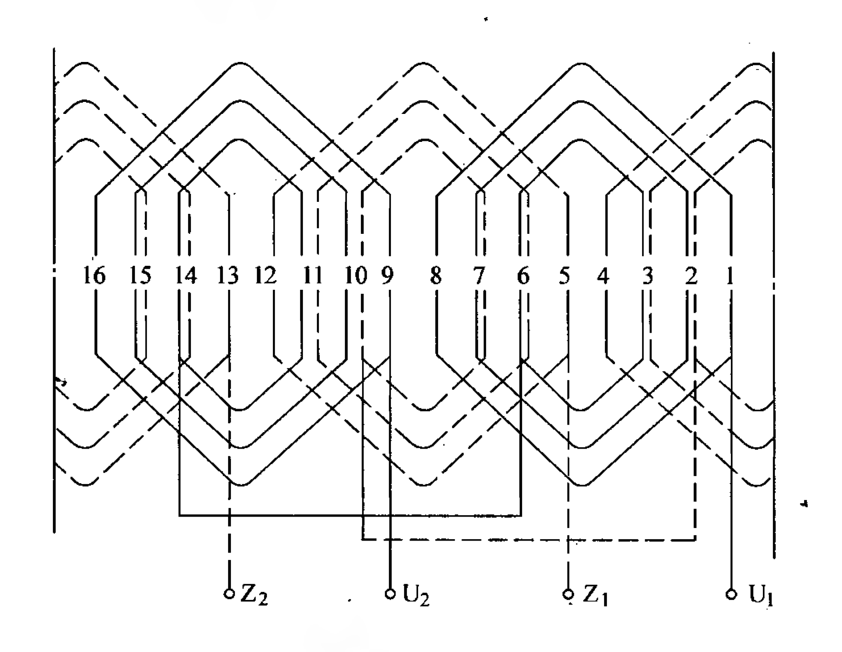


图 4-15　2 极 16 槽单相电动机定子绕组展开图

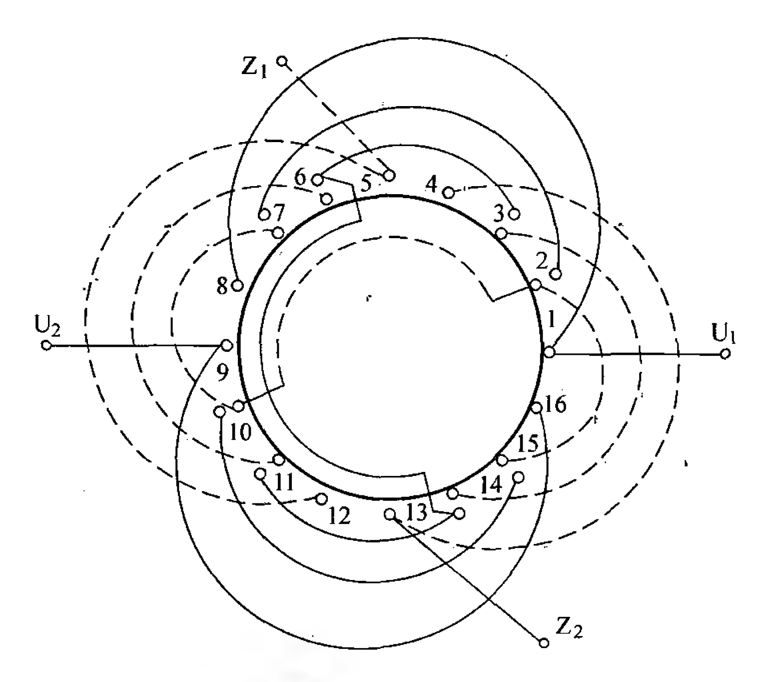


图 4-16　2 极 16 槽单相电动机定子绕组端视图

表 4-11　分层整嵌法

嵌放次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下平面	3	6	2	7	1	8	11	14	10	15	9	16
	上平面												
嵌放次序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	下平面												
	上平面	15	2	14	3	13	4	7	10	6	11	5	12

2．16 槽 4 极定子绕组

这种绕组常在电容运转电动机中应用，多在单速电扇中见到。绕组形式一般多见于两种，一种为单链绕组，一种为双层正弦绕组。

单链绕组布线，线圈为等节距且小于极距，主、副绕组各由 4 个线圈组成。同相相邻线圈采用反向串联，即“尾-尾”，“首-首”相接。工艺简单，节省铜线和绝缘，但电气性能差些。主要在单速电风扇中还应用。其绕组展开图如图 4-17 所示，端视图如

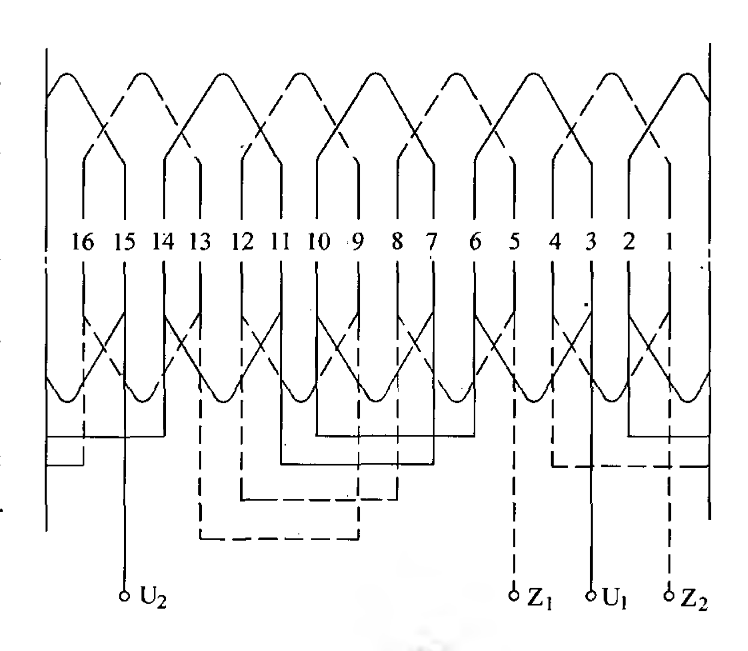


图 4-17　4 极 16 槽单相电动机定子单链绕组展开图

图 4-18 所示。

此绕组的嵌放也采用分层整嵌法，由于电动机容量小，不宜采用交叠嵌放。嵌放顺序见表4-12。

双层正弦绕组形式，有利于消除高次谐波，改善电动机性能，电气性能较好。此绕组为 A 类满圈安排，故整体是双层，槽满率较高，嵌放比前者（单链绕组）要复杂些。绕组展开图如图 4-19 所示，端视图如图 4-20 所示。

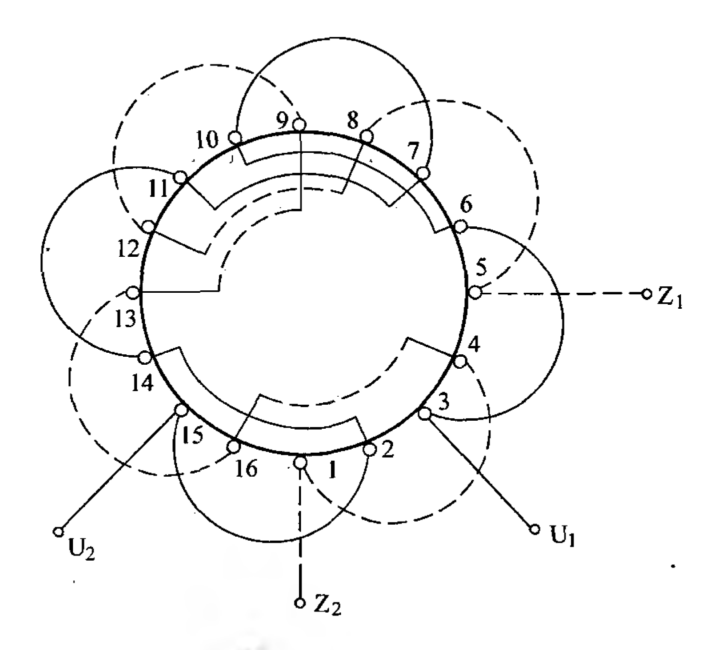


图 4-18　4 极 16 槽单相电动机定子单链绕组端视图

表 4-12　分层整嵌法

嵌放次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下平面	3	6	7	10	11	14	15	2								
	上平面									1	4	5	8	9	12	13	16

绕组的嵌放，用分层嵌法，可用两种方法：

（1）分层整嵌法　此法不用吊边，线圈对称嵌入。嵌放顺序见表 4-13。

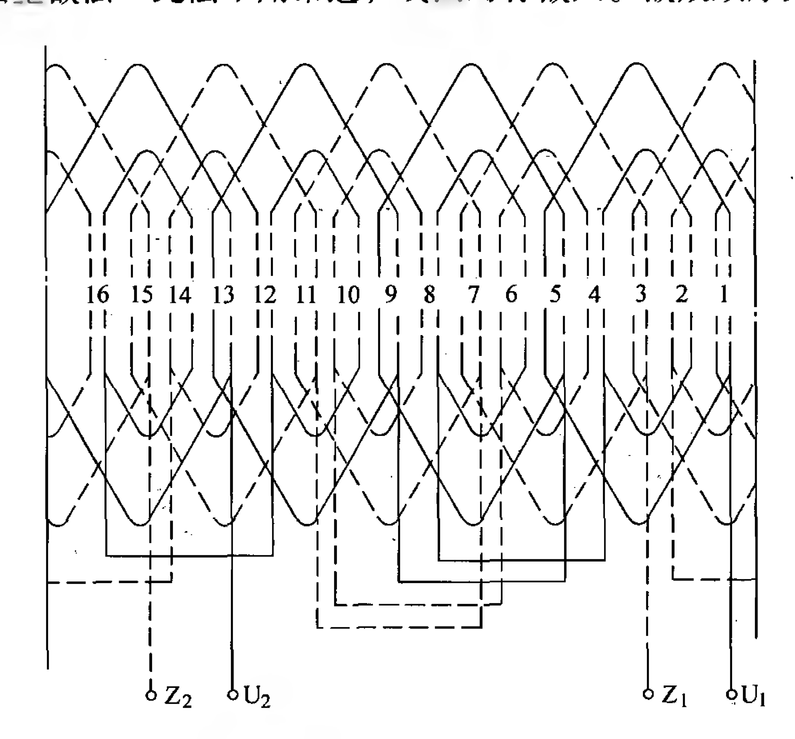


图 4-19　4 极 16 槽单相电动机定子双层正弦绕组展开图

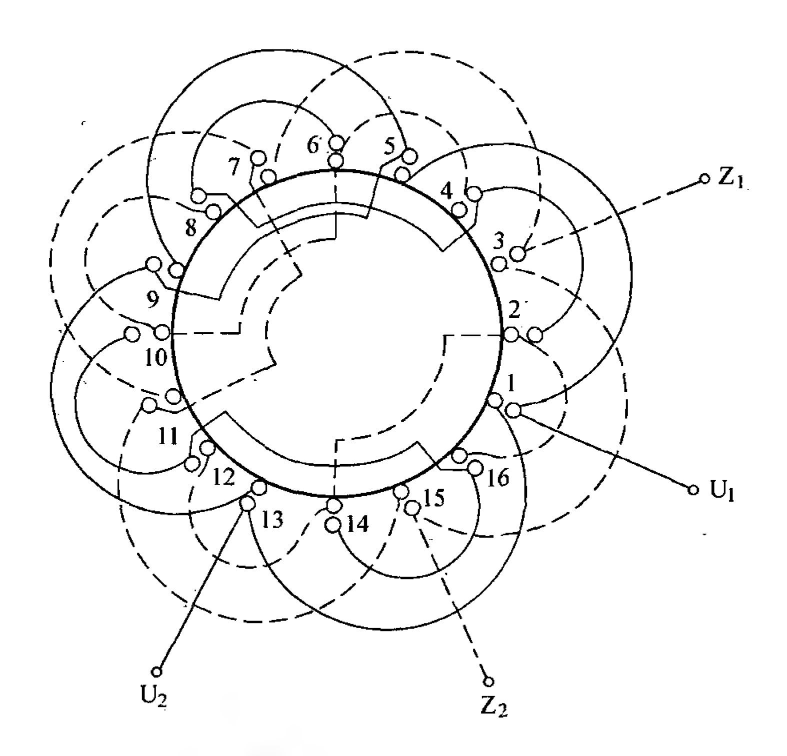


图 4-20　4 极 16 槽单相电动机定子双层正弦绕组端视图

表 4-13　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下层	2	4	1	5	6	8	5	9	10	12	9	13	14	16	13	1
	上层																
嵌放顺序		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
槽号	下层																
	上层	16	2	15	3	4	5	3	7	8	10	7	11	12	14	11	15

（2）分层交叠法　嵌线需吊一边，先嵌主绕组，后嵌副绕组。嵌放顺序见表 4-14。

表 4-14　分层交叠法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下层	4	2	1	14	16	13	1	10	12	9	13	6	8	5	9	5
	上层																
嵌放顺序		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
槽号	下层																
	上层	16	2	15	12	14	11	15	8	9	7	11	4	6	3	7	3

四、18 槽定子绕组

定子为 18 槽的单相电动机也分为 2 极和 4 极两种绕组。2 极定子绕组多用于电阻分相起动和电容分相起动电动机中。4 极定子绕组在老系列电容运转电动机中应用。这里介绍它们的绕组形式、结构和嵌放特点。

1. 2 极 18 槽定子绕组

此类绕组多采用同心式正弦绕组，有两种嵌放形式。一种是 A 类正弦绕组，为双层嵌放。主要在电阻分相起动电动机中应用。图 4-21 为其绕组展开图，图 4-22为其端视图。

这种绕组可使电动机性能得到改善，但嵌放工艺稍复杂，可采用分层嵌放，先嵌主绕组，后嵌副绕组。一相的两组线圈仍是反向串联。嵌放顺序见表 4-15。

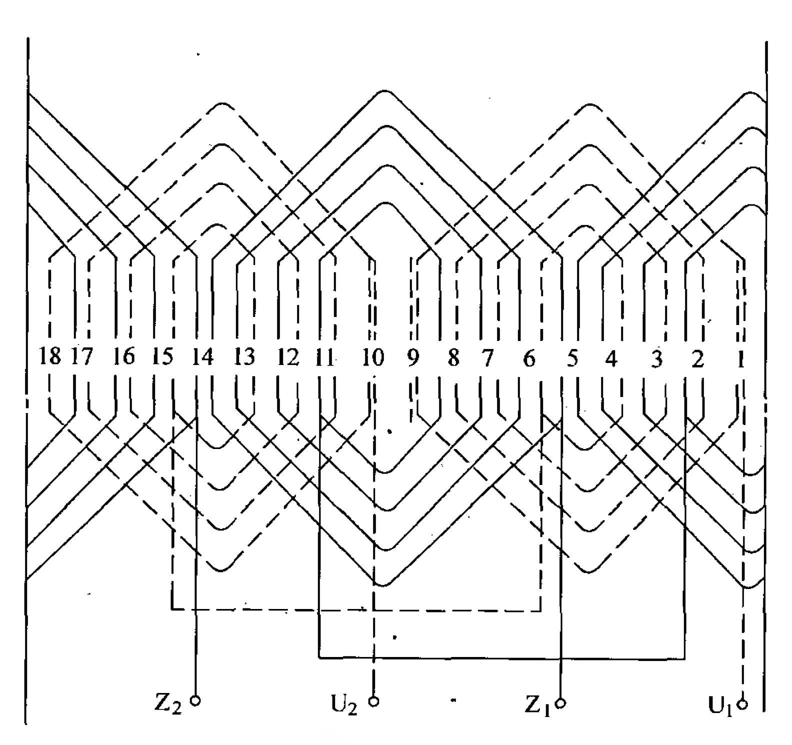


图 4-21　2 极 18 槽双层正弦绕组展开图

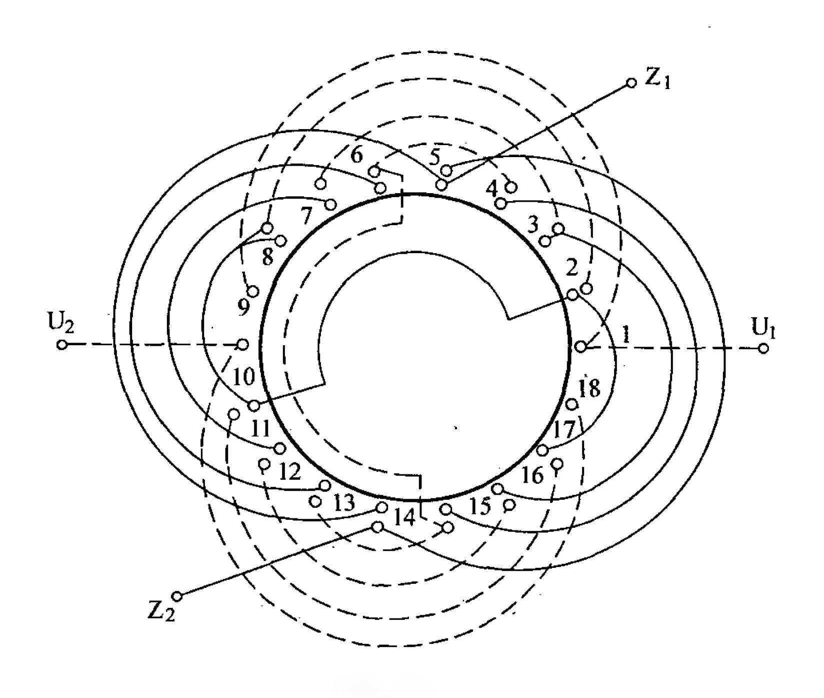


图 4-22　2 极 18 槽双层正弦绕组端视图

表 4-15　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下层	13	15	12	16	11	17	10	18	4	6	3	7	2	8	1	9
	上层																
嵌放顺序		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
槽号	下层							14	5								
	上层	17	2	16	3	15	4			8	11	7	12	6	13	5	14

第二种是单双层混合式正弦绕组，主绕组 3 个线圈一组，副绕组 2 个线圈一组。仅主绕组的最大节距线圈采用双层布线，其匝数为每圈线圈匝数的一半。主要应用在电容起动型或运行型电动机中。其展开图如图 4-23 所示，端视图如图 4-24 所示。

图 4-23　2 极 18 槽单双层正弦绕组展开图

此绕组嵌放较容易，采用分层整嵌法，同相间采用反向串联。嵌放顺序见表 4-16。

2．4 极 18 槽定子绕组

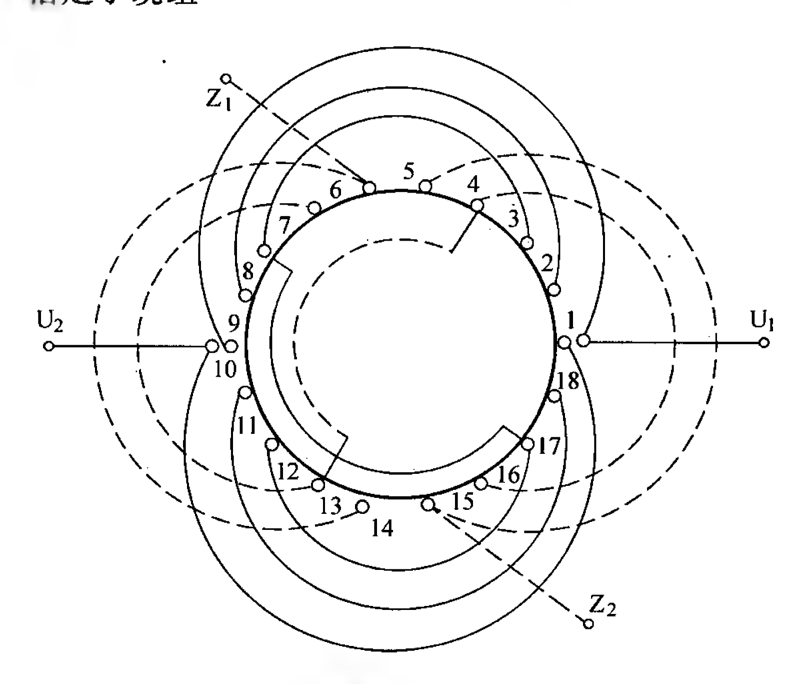


图 4-24　2 极 18 槽单双层正弦绕组端视图

表 4-16　嵌放顺序

嵌放次序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
槽号	下平面	3	8	2	9	1	17	12	18	11	10
	上平面										
嵌放次序		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
槽号	下平面										
	上平面	1	10	7	13	6	14	16	4	15	5

这种绕组只用于老系列单相电容运转电动机中，绕组的嵌放形式较特殊，即安排的是三相绕组，且采用三角形联结，电容并于一侧，如图 4-25b 所示。主绕组首端出线为 U，副绕组首端出线为 Z，附加绕组首端出线设为 G，电容器并接在 Z—G 之间。单相电源从 U—V 之间输入。绕组采用的是单层庶极布线，每相仅用 2 组线圈，且两组为顺向串联，即“首-尾”连接。此绕组主要优点是接线方便，嵌线容易。它的展开图如图 4-25a 所示，端视图如图 4-26 所示。

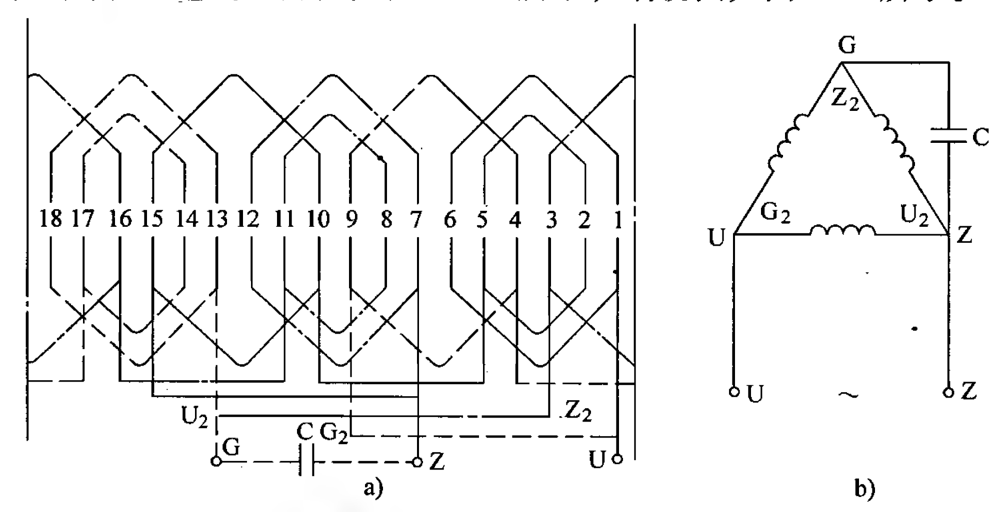


图 4-25　4 极 18 槽单相电动机定子绕组展开图和接线原理图
a）绕组展开图　b）接线原理图

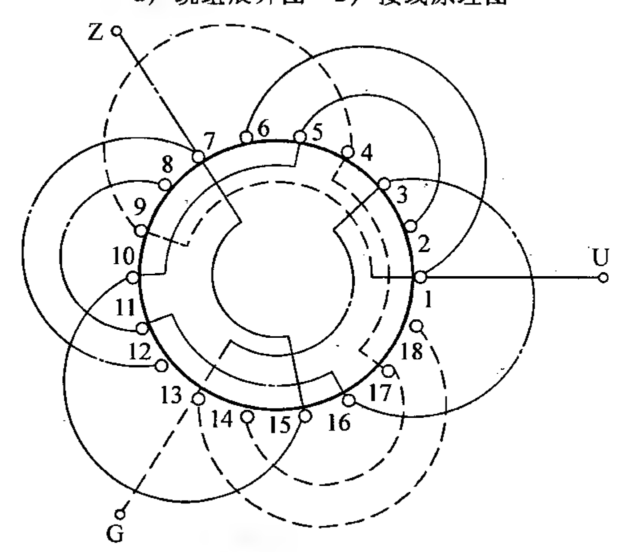


图 4-26　4 极 18 槽单相电动机定子绕组端视图

此绕组的嵌放可采用两种方法：

（1）交叠法　类似三相电动机的单层绕组的嵌法。但注意线圈的参数区别，嵌放顺序见表 4-17。

表 4-17　交叠法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	沉边	2	1	16		14		13		10		8		7		4			
	浮边				3		17		18		15		11		12		9	5	6

（2）整嵌法　先嵌放双圈组作为一层，再嵌放单圈组，形成两平面绕组，嵌放容易。嵌放顺序见表 4-18。

表 4-18　整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下平面	2	5	1	6	8	11	7	12	14	17	13	18						
	上平面													16	3	4	9	10	15

第四节　分相电动机多槽定子绕组的嵌放

分相电动机中容量较大的定子，槽数较多。定子又分为 2、4、6 极。本节主要介绍几种 $Q>18$ 槽的定子绕组。

一、24 槽定子绕组

对定子槽数为 24 的绕组，在单相电动机中较多见的为 2、4 极。绕组的形式较多，这里仅列举几种用的较多的典型绕组。

1．2 极 24 槽定子绕组

因为这类绕组每极线圈数较多（最多达 6 个线圈），为了改善电动机的性能，且嵌放方便，故大多采用同心式正弦绕组。有 6/6-B、6/5-B、5/5-B、4/2-B 等布线。其中“/”上面的数字表示主绕组的每极线圈数，下面的数字表示副绕组线圈数。“B”表示 B 类布线，当然也可采用 A 类布线。但工艺上稍微复杂，且绕组系数低，较少采用。这些绕组可应用于运转型，但大多应用于起动型单相电动机。现以应用较多的 5/5-B 型和 6/5-B 为例，说明绕组的排列方法和接线方法。

【例 4-3】　5/5-B 型 2 极 24 槽定子正弦绕组，它的主、副绕组均由 5 个同心线圈构成极相组，且按正弦绕组分配线圈匝数。能有效地削弱 3、5、7 次谐波影响。同相相邻极相组按反向串联，为显极式，在单相电动机中应用较多，除电容运转电动机外，还在起动型电冰箱电动机等中应用。该绕组的展开图如图4-27所示，端视图如图 4-28 所示。

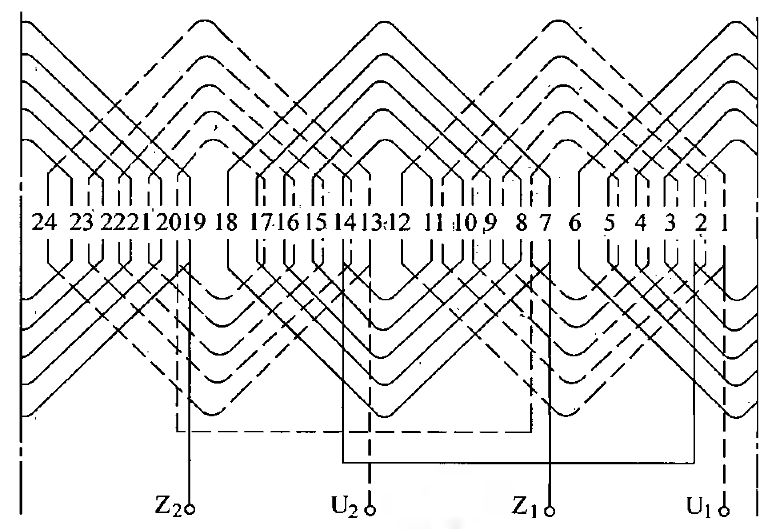


图 4-27　5/5-B 型 2 极 24 槽定子绕组展开图

对绕组采用分层整嵌法，先嵌放主绕组，再嵌放副绕组。多数槽为双层。每组线圈先嵌小圈后依次嵌放大圈。嵌放顺序见表 4-19。

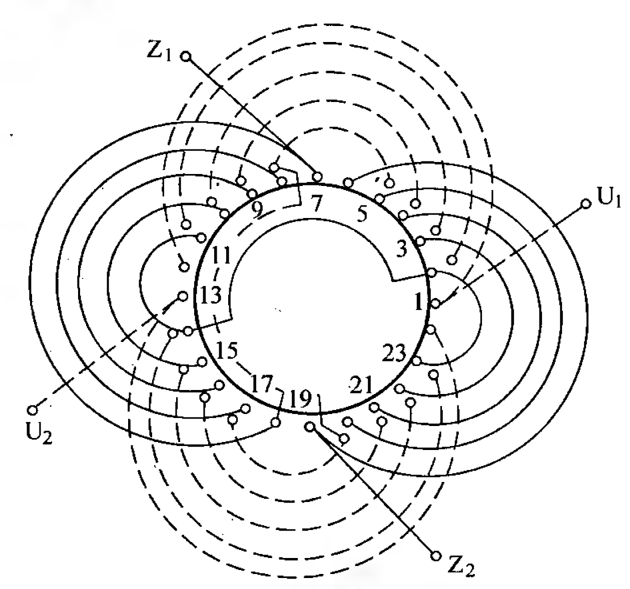


图 4-28　5/5-B 型 2 极 24 槽定子绕组端视图

【例 4-4】　4/2-B 型 2 极 24 槽定子正弦绕组，此种绕组的主绕组每极相组只有 4 个线圈，按正弦绕组分配匝数，而副绕组只有 2 个线圈，全部为分层布线，所以嵌放比较方便。但是，副绕组存在高次谐波的影响，电气性能差些，所以它主要应用于起动型电动机。该绕组的展开图如图 4-29 所示，端视图如图 4-30 所示。

表 4-19　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
槽号	下层	5	8	4	9	3	10	2	11	1	12
	上层										
嵌放顺序		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
槽号	下层	17	20	16	21	15	22	14	23	13	24
	上层										
嵌放顺序		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
槽号	下层										
	上层	23	2	22	3	21	4	20	5	19	6
嵌放顺序		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
槽号	下层										
	上层	11	14	10	15	9	16	8	17	7	18

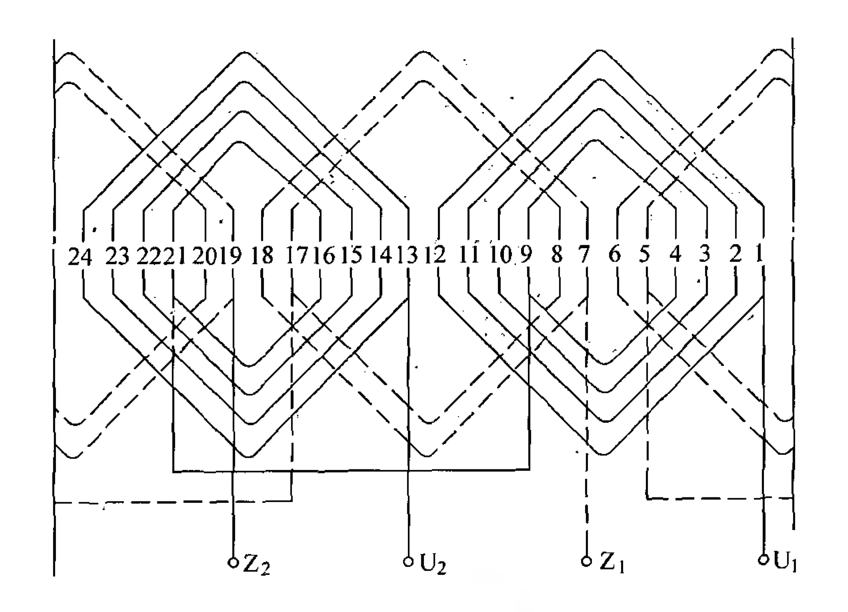


图 4-29　4/2-B 型 2 极 24 槽定子绕组展开图

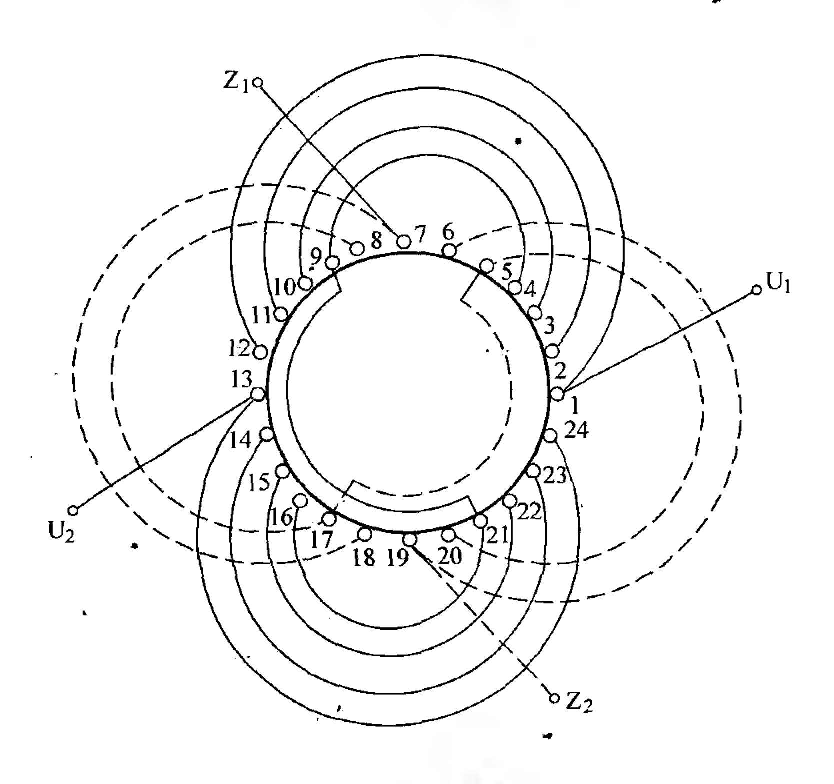


图 4-30　4/2-B 型 2 极 24 槽定子绕组端视图

由于主、副绕组均为单层线圈，采用分层整嵌法，嵌放后端部会形成层次分明的双平面绕组。嵌放时先嵌主绕组，再嵌副绕组。采用反向串联连接，嵌放顺序见表 4-20。

2．4 极 24 槽定子绕组

4 极 24 槽的单相电动机，由于应用的范围较广，定子绕组的形式也较多。

表 4-20　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下平面	4	9	3	10	2	11	1	12	16	21	15	22
	上平面												
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	下平面	14	23	13	24								
	上平面					20	5	19	6	8	17	7	18

除了常规的 3/3-A、3/2-A、单双层 A 或 B 类正弦绕组外，还采用了单层交叉式，异形槽单层绕组等其他形式的绕组。每种绕组各有优缺点，根据使用场合不同，适当选择采用。现介绍以下几种典型绕组。

【例 4-5】 3/2-A 型正弦绕组

该绕组的主绕组每极相组含 3 个同心线圈，按正弦绕组分配匝数，而副绕组的每极相组含 2 个线圈，也为正弦绕组。主、副绕组均采用 A 类布线，槽满率较高，绕组呈单双层形式，谐波分量较少，具有较好的电气性能，适用于起动型单相电动机。绕组展开图如图 4-31 所示，绕组端视图如图 4-32 所示。

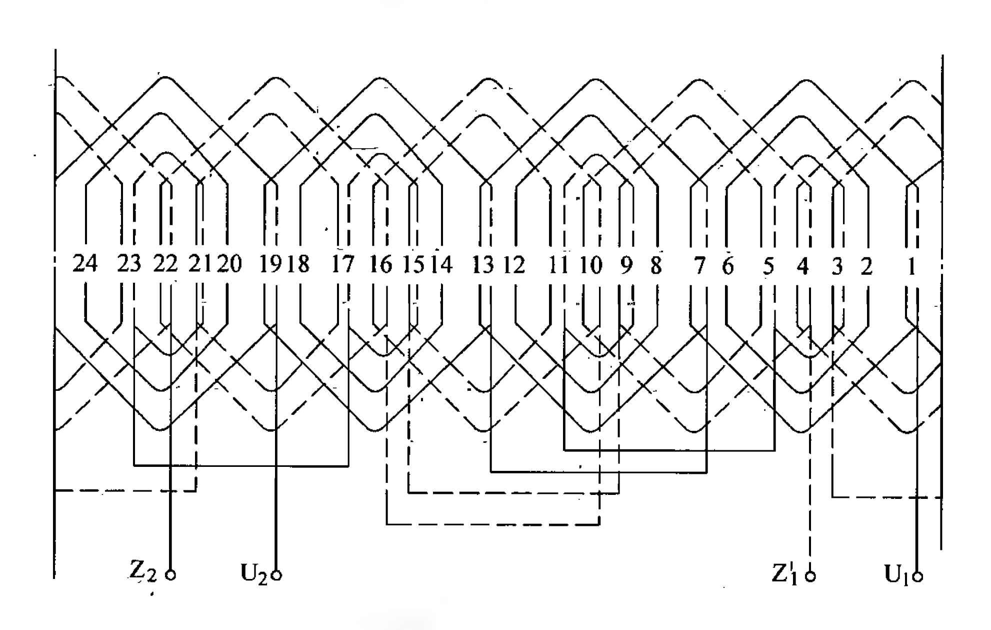


图 4-31　4 极 24 槽定子 3/2-A 型正弦绕组展开图

该绕组的嵌放可采用两种方法：

（1）分层交叠法　先嵌放主绕组，后嵌放副绕组。但大节距线圈必须采用吊边嵌放，吊边数为 1，嵌放顺序见表 4-21。

（2）分层整嵌法　主、副绕组分别嵌放，但采用同相绕组线圈对称嵌放，大节距线圈不再交叠，嵌放顺序见表 4-22。

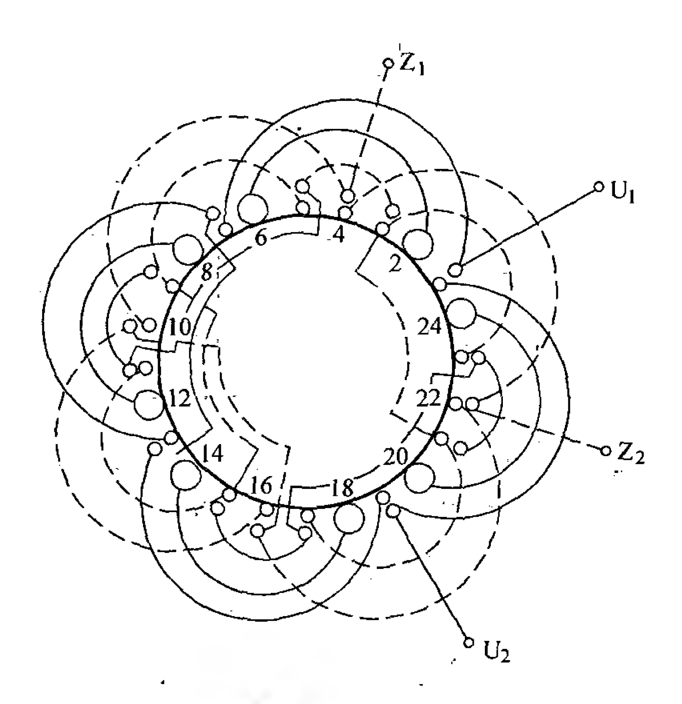


图4-32　4极24槽定子3/2-A型正弦绕组端视图

表 4-21　分层交叠法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
槽号	下层	3	5	2	6	1	21	23	20	24	19		15	17	14	18	13		9	11	8
	上层											1						19			
嵌放顺序		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
槽号	下层	12	7					4			22				16				10		
	上层			13	7	5	9		23	3		4	17	21		22	11	15		16	10

表 4-22　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
槽号	下平面	3	5	2	6	1	9	21	23	20	24	19	1	15	17	14	18	13	19	9	11
	上平面																				
嵌放顺序		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
槽号	下平面	8	12	7	13																
	上平面					5	9	4	10	11	15	10	16	17	21	16	22	23	3	22	4

【例 4-6】　单双层B类正弦绕组

这种绕组的主、副绕组采用相同的短节距线圈布线，每组只有2个同心线圈，且按B类正弦绕组布线，同相相邻的极相组采用反向串联，既节省铜线，又便于嵌线，电动机运行性能好，主、副绕组可采用相同绕组，最适用于洗衣机的电容运转型电动机中。可经常正反转。该绕组的展开图如图4-33所示，其端

视图如图 4-34 所示。

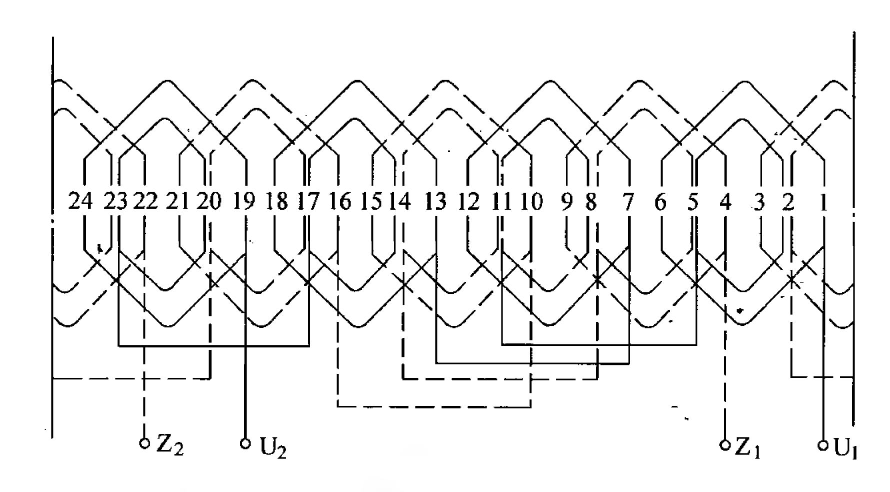


图 4-33　4 极 24 槽单双层正弦绕组展开图

本绕组采用分层整嵌法嵌放。先嵌放主绕组于一平面，再嵌放副绕组于一面，构成双平面绕组。嵌放顺序见表 4-23。

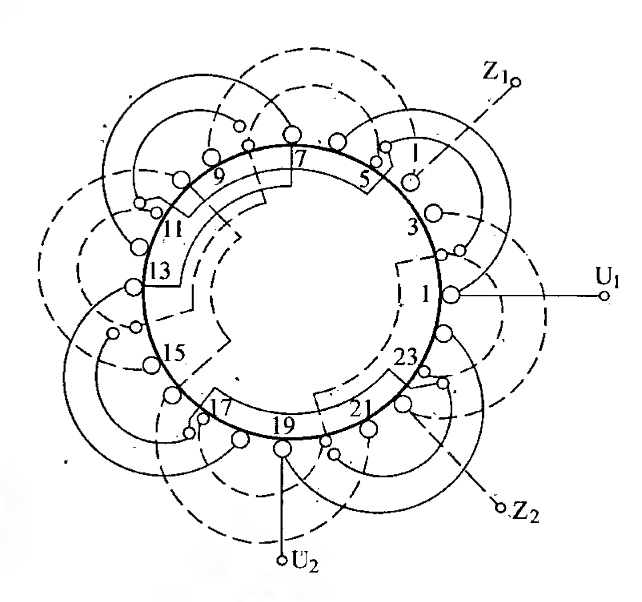


图 4-34　4 极 24 槽单双层正弦绕组端视图

【例 4-7】　单层交叉链式绕组

该绕组类似三相单层链式绕组，副绕组按正规单链布线，而主绕组为两相邻的单链连成一相的形式布线，且主绕组每组的两个线圈不是连续分布的。主、副绕组的匝数比和所占槽数比均为 2:1。该绕组采用的是短节距等距线圈，既省铜线，嵌放又方便，主要应用于分相起动型单相电动机中。此种形式的绕组取自国外资料，目前国内甚为罕见。其绕组展开图如图 4-35 所示，绕组端视图如图 4-36 所示。

表 4-23　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下平面	2	5	1	6	20	23	19	24	14	17	13	18	8	11	7	13
	上平面																
嵌放顺序		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
槽号	下平面																
	上平面	5	8	4	9	23	2	22	3	17	20	16	21	11	14	10	15

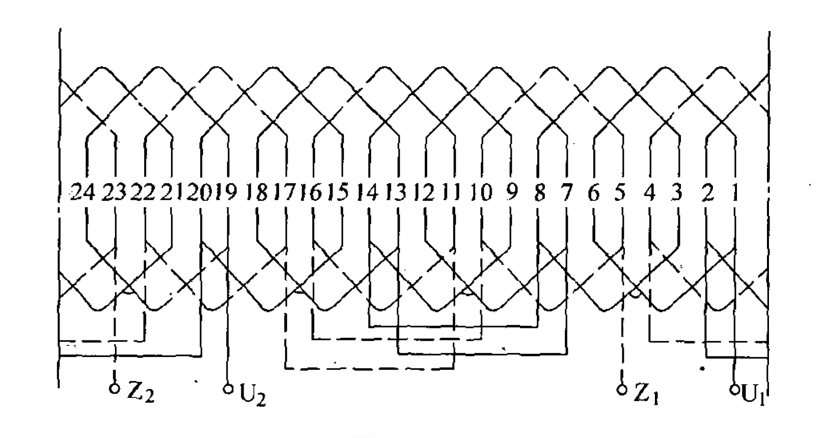


图 4-35　4 极 24 槽单层交叉链式绕组展开图

该绕组采用两种嵌放方法：

（1）交叠法嵌线　嵌放规律如同三相单层链式一样，嵌 1 槽，退空 1 槽，再嵌 1 槽，如此嵌放。嵌放后的绕组整齐美观。嵌放顺序见表 4-24。

（2）分层嵌放　先嵌放主绕组，再嵌放副绕组，分处两个平面，但主绕组仍有交叠，嵌放简单，嵌放顺序见表 4-25。

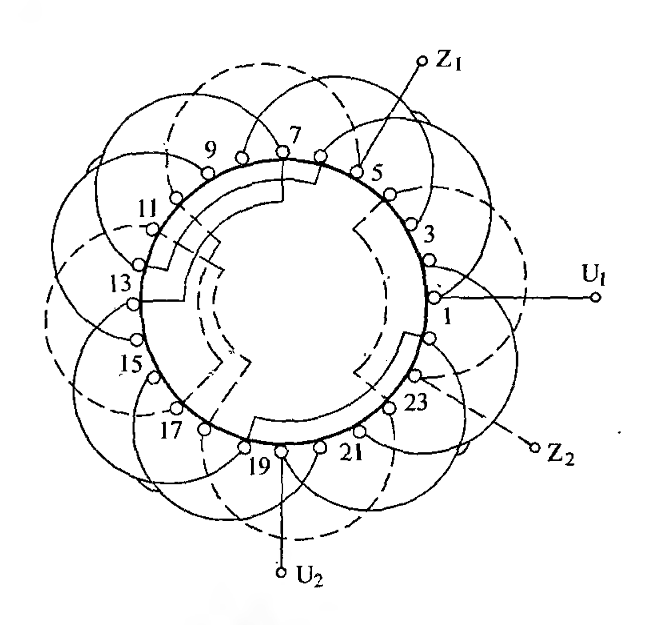


图 4-36　4 极 24 槽单层交叉链式绕组端视图

【例 4-8】　异形槽单层绕组

该绕组在外方内圆形铁心中采用，比如有的洗衣机电动机就采用。铁心中有 8 个截面积较小的槽，分 4 组对称分布在铁心直边的窄面上，其余 16 个槽为大截面槽，也分 4 组分布在 4 个带圆弧的宽面铁心内，电动机绕组为主、副绕组和附加绕组，主、副绕组参数相同，且安排在大槽内。附加绕组匝数较少，安放在小槽内。这种绕组的布线与三相类似，为单层链式。且三种绕组

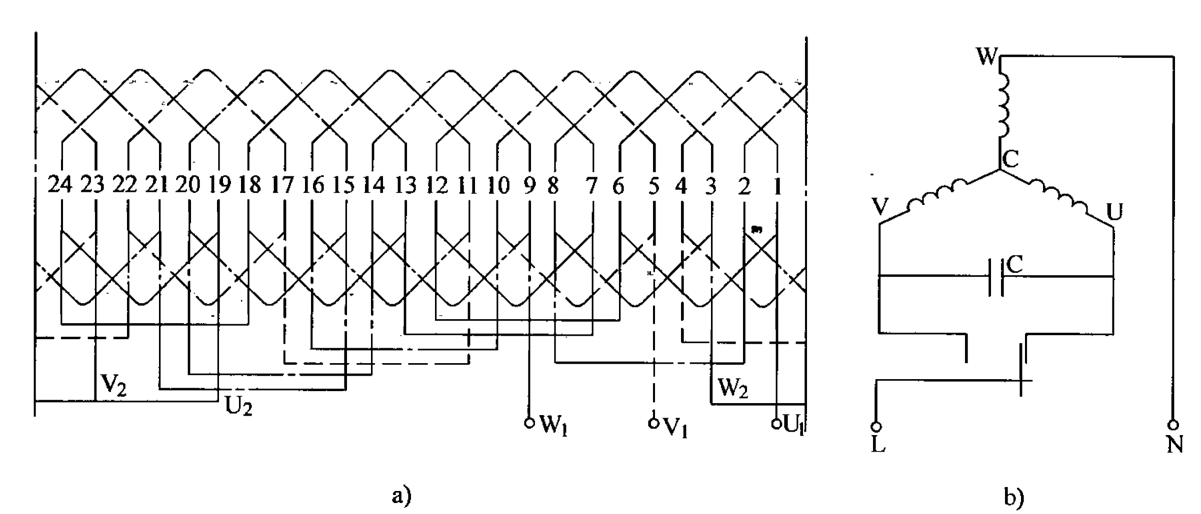
表 4-24　交叠法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	沉边	3	1	23		21		19		17		15	
	浮边				4		2		24		22		20
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	沉边	13		11		9		7		5			
	浮边		18		16		14		12		10	8	4

表 4-25　分层法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下平面	3	1	6	21	2	19	24	15	20	13	18	9
	上平面												
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	下平面	14	7	12	8								
	上平面					5	10	23	4	17	22	11	16

为Y联结，用于经常正反转的单相电动机（洗衣机电动机）中，技术性能较好，用料省，嵌放方便。其绕组展开图和接线原理图如图 4-37 所示，绕组端视图如图 4-38 所示。



a)　　　　b)

图 4-37　展开图

a）展开图　b）接线原理图

U—主绕组　V—副绕组　W—附加绕组

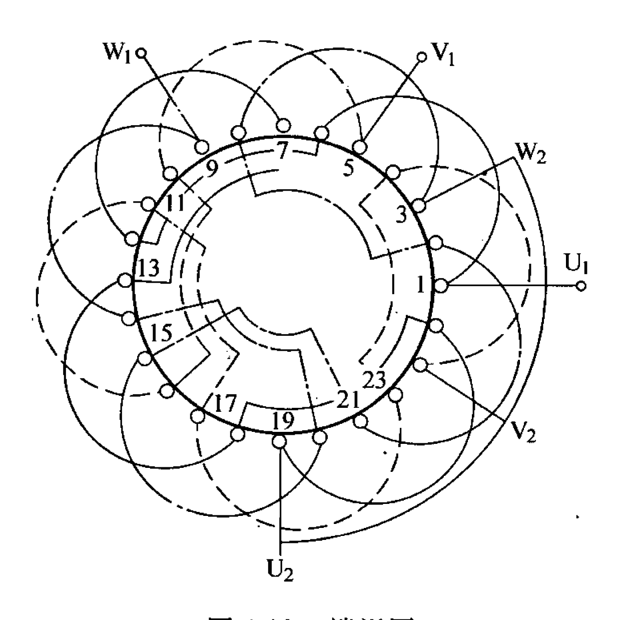


图 4-38　端视图

该绕组可用两种方法嵌放：

（1）交叠法　嵌 1 槽，退空 1 槽，再嵌 1 槽，依次类推，吊边为 2。嵌放顺序见表 4-26。

表 4-26　交叠法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	沉边	1	23	21		19		17		15		13	
	浮边				2		24		22		20		18
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	沉边	11		9		7		5		3			
	浮边		16		14		12		10		8	6	4

（2）整嵌法　分层嵌放，无需吊边，但绕组端部形成 3 个平面。嵌放顺序见表 4-27。

表 4-27　整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下平面	1	6	19	24	13	18	7	12				
	中平面									23	4	17	22
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	中平面	11	16	5	10								
	上平面					21	2	15	20	9	14	3	8

3．6 极 24 槽定子绕组

在单相排风扇和通风机中，因为要求风扇的转速低，故需要 6 极单相电动机。6 极 24 槽电动机定子绕组即应运而生。因此这种电动机的定子外腔较大，为嵌放容易，一般选用单层链式绕组。

6 极 24 槽单层链式绕组中，主、副绕组占槽相等，均由 8 个等距线圈组成，同相相邻线圈采用反向串联连接。虽然实际线圈的节距小于极距（$y=3$），但仍属整距绕组。线圈端部较短，用线较省，是 24 槽 6 极电动机中较好的绕组形式，常用于 400～500mm 的排风扇，通风机等电容运转电动机中。其绕组展开图如图 4-39 所示，其端视图如图 4-40 所示。

对该绕组的嵌放可用分层整嵌法，且建议将主、副绕组的 6 个线圈分别连绕，避免接线麻烦又提高质量。但注意嵌放时相邻线圈的极性一定要相反。嵌放后的绕组端部分两层，为双平面绕组，嵌线顺序见表 4-28。

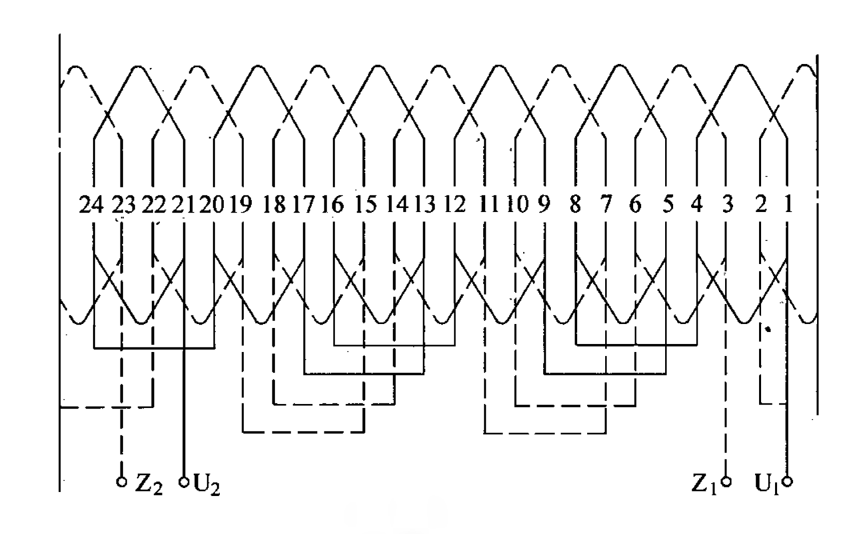


图 4-39　6 极 24 槽单相链式绕组展开图

二、32 槽定子绕组

定子铁心为 32 槽，其定子绕组主要嵌放 4 极绕组。这种电动机多应用于电冰箱分相起动型电动机中，绕组形式有：3/3-B、3/2-B、4/3-A、3/3-A 等，这里仅以应用较多的 3/3-B 型正弦绕组为例，说明此绕组的特点。

4 极 32 槽 3/3-B 型定子绕组，其主、副绕组布线相同，每极相组为 3 个线圈按正弦绕组分配匝数，同相相邻极相组是反向串联相接，最大节距的线圈为单层，其他线圈主、副绕组在槽内形成双层。绕组能有效地削弱高次谐波，从而有较好的起动性能。绕组嵌放较容易。此绕组即可用于运行型也适用于起动型单相电动机。被国产多种型号压缩机用电动机所选用。该绕组的展开图如图 4-41 所示，端视图如图 4-42 所示。

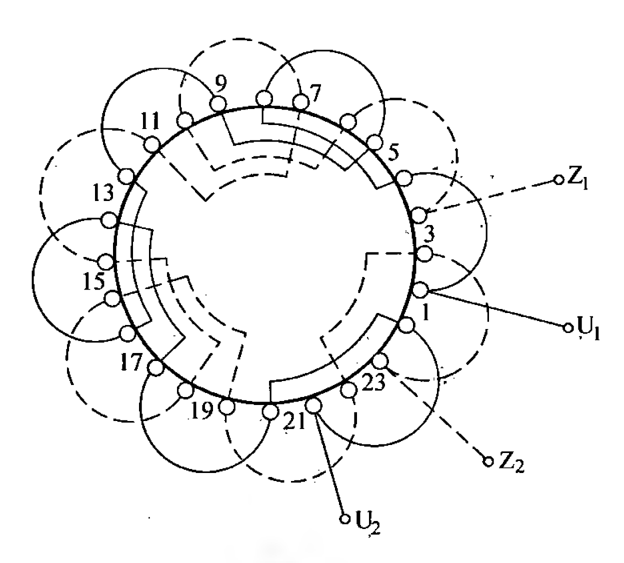


图 4-40　6 极 24 槽单相链式绕组端视图

表 4-28　分层整嵌法

嵌放顺序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
下平面槽号	21	24	17	20	13	16	9	12	5	8	1	4
嵌放顺序	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
上平面槽号	23	2	19	22	15	18	11	14	7	10	3	5

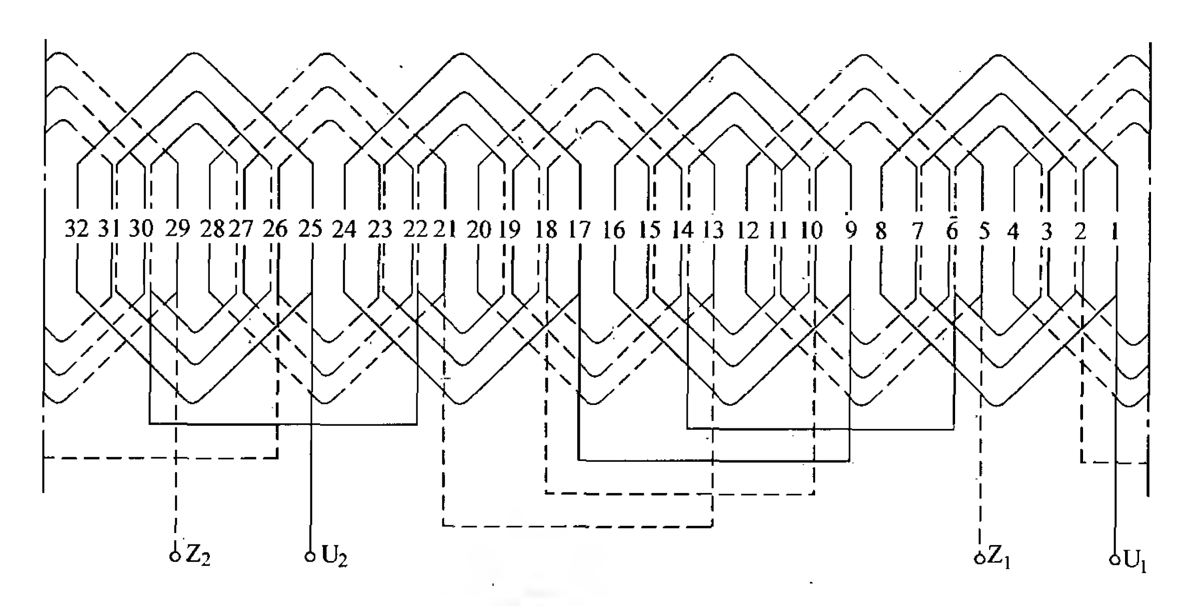


图 4-41　4 极 32 槽 3/3-B 型定子绕组展开图

对此绕组的嵌放多采用分层嵌放，先嵌放主绕组，后嵌放副绕组，绕组端部形成两个平面。其嵌放顺序见表 4-29。

三、36 槽定子绕组

在单相分相电动机中，定子为 36 槽的只见于较大功率的电容起动电动机才有，且一般为 4 极。4 极 36 槽定子绕组多嵌放正弦绕组，比如：4/2-A/B 型、4/3-A/B 型、4/3-B/A 型等。这里仅以 4/2-A/B 型为例来说明该绕组的嵌放特点。

对 4/2-A/B 型定子绕组，主

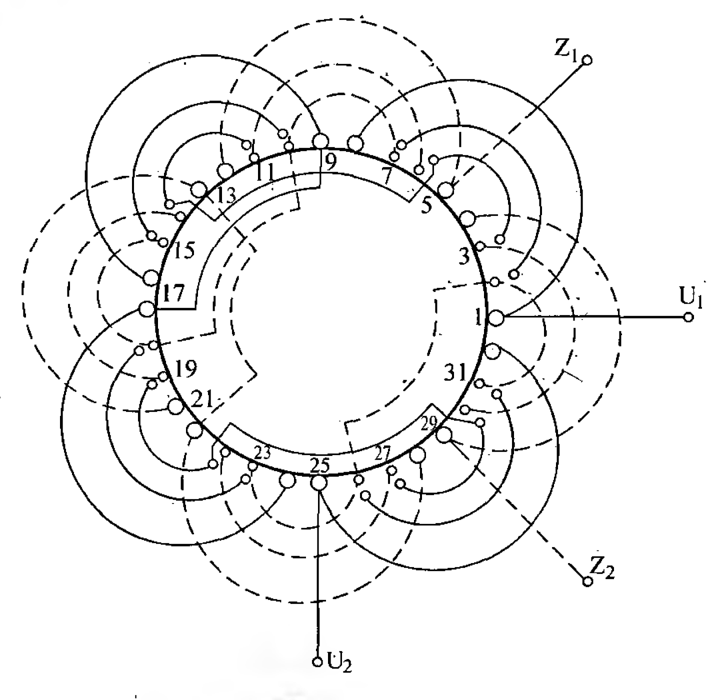


图 4-42　4 极 32 槽 3/3-B 型定子绕组端视图

表 4-29　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下平面	3	6	2	7	1	8	27	30	26	31	25	32	19	22	18	23
	上平面																
嵌放顺序		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
槽号	下平面	17	24	11	14	10	15	9	16								
	上平面									7	10	6	11	5	12	31	2
嵌放顺序		33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
槽号	下平面									21	28	15	18	14	19	13	20
	上平面	30	3	29	4	23	26	22	27								

绕组的每极相组含 4 个同心线圈，且 A 类布线，副绕组每极相组含 2 个同心线圈，按 B 类布线。主、副绕组均按正弦绕组分配线圈匝数，且同相相邻极相组之间为反向串联连接。主绕组占槽较多，布线合理，对高次谐波可基本削弱掉，所以该绕组是一种比较典型的起动型绕组。故它多用在电容起动型单相电动机中。该绕组的展开图如图 4-43 所示，绕组端视图如图 4-44 所示。

对该绕组采用分层法嵌放，先嵌放主绕组，后嵌放副绕组。但对主绕组有两种嵌放法：

（1）分层交叠法　主绕组的大线圈交叠嵌放，需吊起 1 个边嵌放，嵌线顺序见表 4-30。

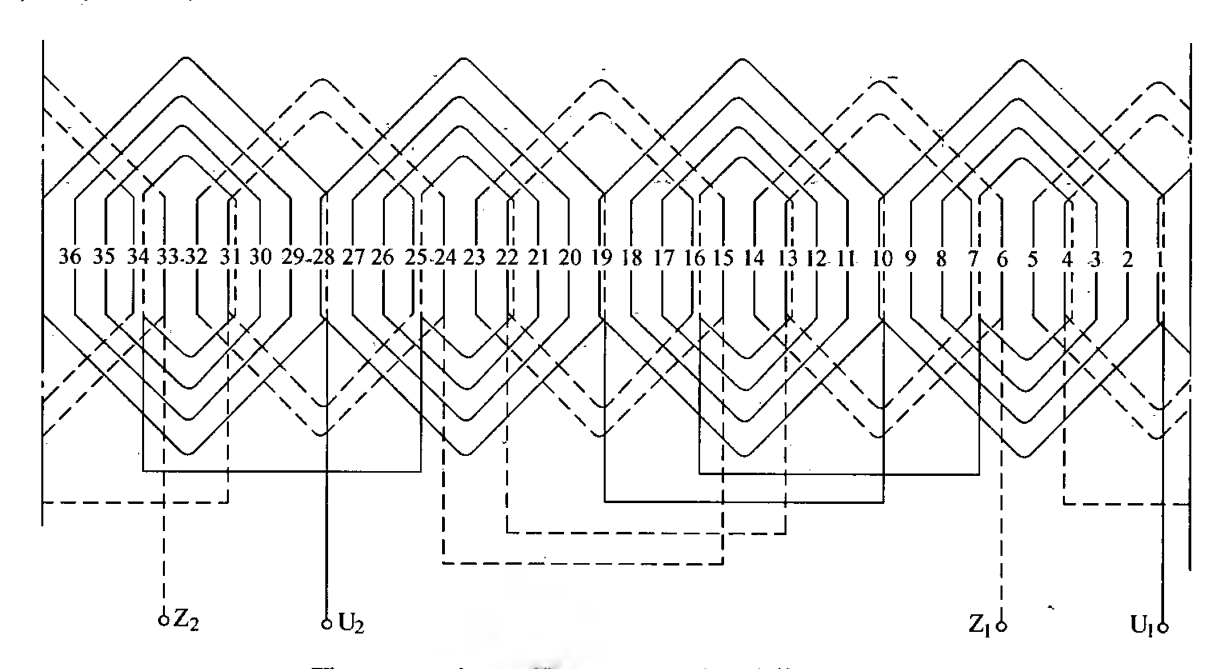


图 4-43　4 极 36 槽 4/2-A/B 型正弦绕组展开图

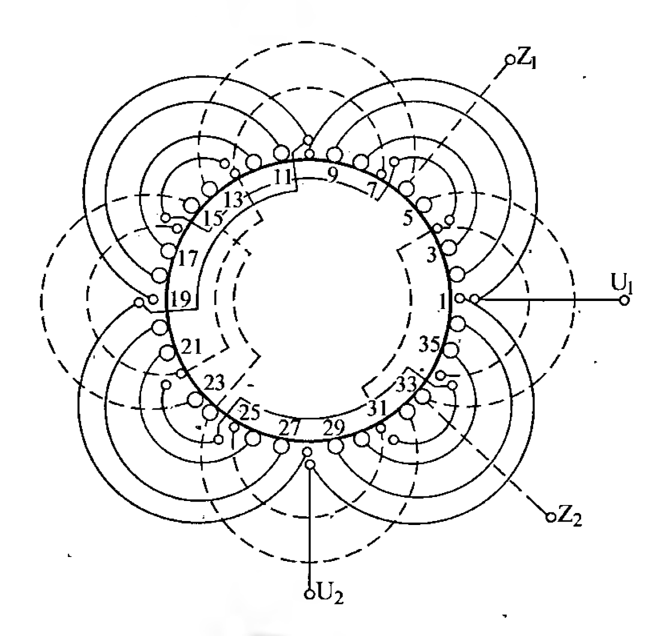


图 4-44　4 极 36 槽 4/2-A/B 型正弦绕组端视图

（2）分层整嵌法　主绕组对面嵌放，嵌线顺序见表 4-31。

表 4-30　分层交叠法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下层	4	7	3	8	2	9	1	31	34	30	35	29	36	28	1	22
	上层																
嵌放顺序		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
槽号	下层	25	21	26	20	27	19	28	13	16	12	17	11	18	10	19	10
	上层																
嵌放顺序		33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
槽号	下层																
	上层	7	13	6	14	34	4	33	5	25	31	24	32	16	22	15	23

表 4-31　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下平面	4	7	3	8	2	9	1	10	22	25	21	26	20	27	19	28
	上平面																
嵌放顺序		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
槽号	下平面	13	16	12	17	11	18	10	19	31	34	30	35	29	36	28	1
	上平面																
嵌放顺序		33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
槽号	下平面																
	上平面	7	13	6	14	34	4	33	5	25	31	24	32	16	22	15	23

第五节　单相罩极式电动机定子绕组的嵌放

单相罩极式电动机主要用来做台风扇、鼓风机等转动方向固定的机械动力。定子分凸极式和隐极式两种，且以 2 极和 4 极电动机较多。由于此类电动机国家还没有统一规格，各生产厂家根据设备需要自行设计，所以定子绕组布置类型较多。本节只例举一些典型的绕组来说明罩极电动机定子绕组的分布和嵌放方法。

一、凸极式定子绕组

凸极式定子由于结构形式特殊，故其主绕组和罩极绕组都简单。图 4-45 所示为 4 极凸极式电动机的定子结构示意图。其主绕组是集中式绕组线圈缠绕在各磁极铁心上，将各线圈按相邻极性相反的原则依次串联起来。接于单相交流电源。

每极的极面同一侧开有槽，将自行短路的罩极绕组镶嵌在槽内罩住部分磁极。罩极绕组是一匝短路铜环，被罩的极面积约占整个极面的 1/3 ~ 1/2。

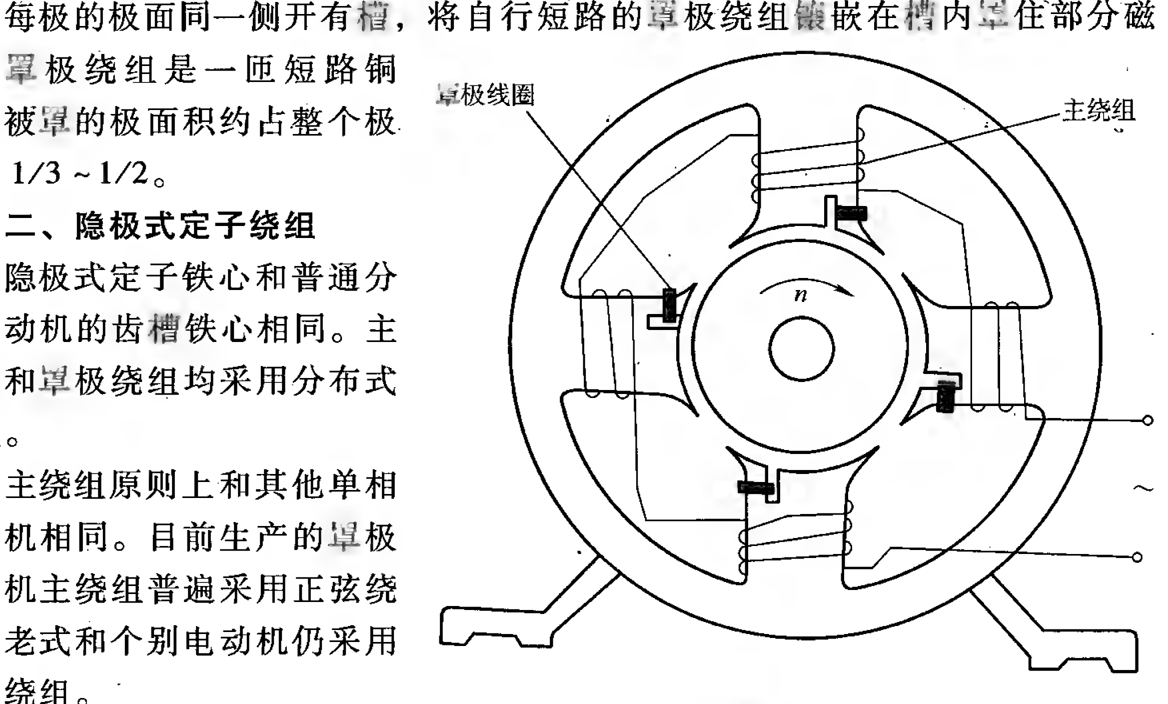


图 4-45　4 极凸极式罩极电动机定子结构示意图

二、隐极式定子绕组

隐极式定子铁心和普通分相电动机的齿槽铁心相同。主绕组和罩极绕组均采用分布式绕组。

主绕组原则上和其他单相电动机相同。目前生产的罩极电动机主绕组普遍采用正弦绕组，老式和个别电动机仍采用等匝绕组。

罩极绕组一般匝数较少，导线较粗，直接镶嵌在部分槽的上层。因为罩极绕组是自行闭合的短路绕组，其接线有 3 种方式，第一种是每极的罩极线圈分别自行短接；第二种是各极的罩极线圈和主绕组一样，一正一反串联成一路，最后将尾端与起端短接起来，全部罩极绕组形成一个闭合回路；第三种是多路串联，通常为二路串联，每个串联回路由对称的两个罩极线圈组成，分别接成闭合回路。不论怎样接法，罩极线圈的极性通常与主绕组相同。

罩极绕组一般为显极布线，主罩极两绕组在空间的互差角度是决定罩极电动机性能的主要因素之一。通常在 30° ~ 60°电角度之间，用 θ 表示。θ 角的大小按主、罩极绕组的两中心距离来计算。θ 偏小，电动机的运行性能好，而起动转矩小；反之，θ 偏大则起动性能好，而运行性能差。为兼顾起动和运行，常取 $\theta = 45°$电角度。θ 的大小由罩极线圈的相对位置安排来确定。也可用改变罩极线圈的节距来改变。罩极线圈的一个有效边不动，将罩极线圈的节距增大，则使 θ 角增大；反之则 θ 变小。

另外，罩极线圈和主绕组的相对位置决定了电动机的转向，转子的转向总是从主绕组中心向罩极绕组中心方向的，在嵌放绕组时，必须考虑到。

下面以极数不同分别例举几种隐极电动机的绕组形式。

（一）2 极罩极电动机定子绕组

常见 2 极罩极电动机定子有 12 槽、16 槽、18 槽和 24 槽。

1. 2 极 12 槽罩极电动机定子绕组

这种绕组的主绕组每极相组由 3 个或 2 个同心正弦线圈组成，图 4-46 所示

的是由3个线圈组成，且按A类正弦绕组布线，它能有效地削弱高次谐波，明显改善电动机性能。罩极绕组每极由1个线圈构成，且为长节距，以使有限匝数中获得足够的罩极电阻来限制起动电流。罩极偏角 $\theta=45°$，起动性能适中。图4-46是其绕组展开图，图4-47为其端视图。

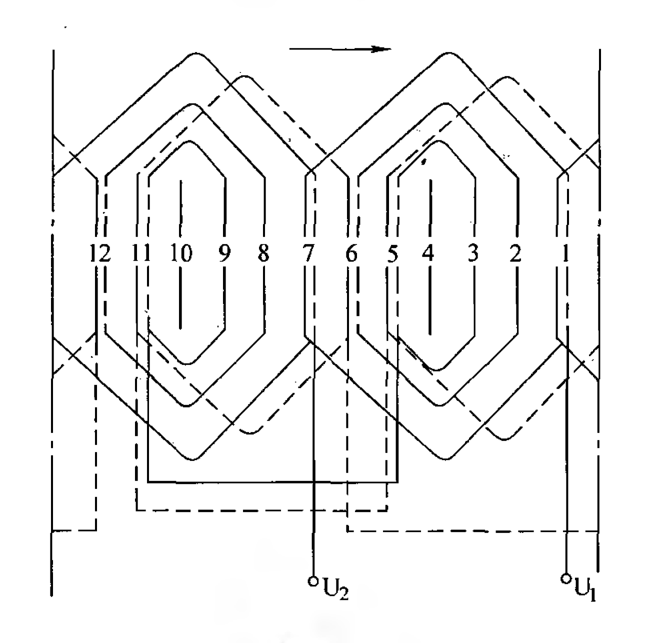


图4-46　2极12槽罩极电动机绕组展开图

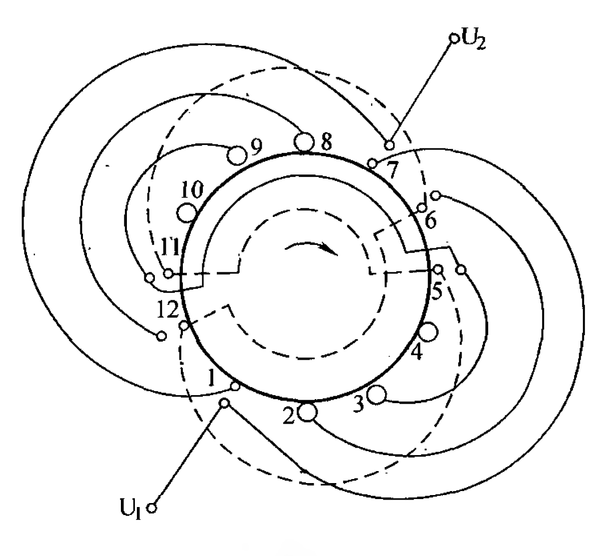


图4-47　2极12槽罩极电动机绕组端视图

对该绕组采用分层整嵌法，先嵌放主绕组，再放置罩极绕组。嵌放顺序见表4-32。

表4-32　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下平面	5	3	6	2	7	1	11	9	12	8	1	7				
	上平面													5	12	11	6

2．2极16槽罩极电动机定子绕组

该电动机的主绕组可采用B类正弦绕组，为使铁心利用率高，每极相组由4个同心线圈组成，如图4-48所示。这样的主绕组能削弱高次谐波，电动机性能较好。实际中，为使工艺简单，选3个线圈组成极相组，这样，工艺稍简，但铁心利用率差些，且电动机性能稍差。

罩极绕组每极由两个线圈组成，跨距适中。可将罩极线圈串联后再短接，如图4-48a所示。可将每极的两线圈分别自行短接，如图4-48b所示。还可采用每极单圈长距罩极线圈布置，如图4-48c所示，罩极绕组偏角 $\theta=45°$。其中图4-48a绕组，对电动机的起动性能和运行性能均较好。图4-48为其绕组展开图，图4-49为其绕组端视图。

a)

b)

c)

图 4-48　2 极 16 槽罩极电动机定子绕组展开图

该绕组的嵌放仍采用分层整嵌法，嵌放顺序见表 4-33。

3．2 极 18 槽罩极电动机定子绕组

该绕组的主绕组每极相组由 4 个同心正弦线圈组成为好。在铁心中按 B 类布线，电气性能较好，如图 4-50 所示。有的还可用 3 个线圈组成，但铁心利用率较差。罩极绕组仍然用每极 2 个线圈一组，适当节距和位置，且每组自行短接 $\theta=45°$，如图 4-50a 所示。为获得较大的罩极电阻，也可

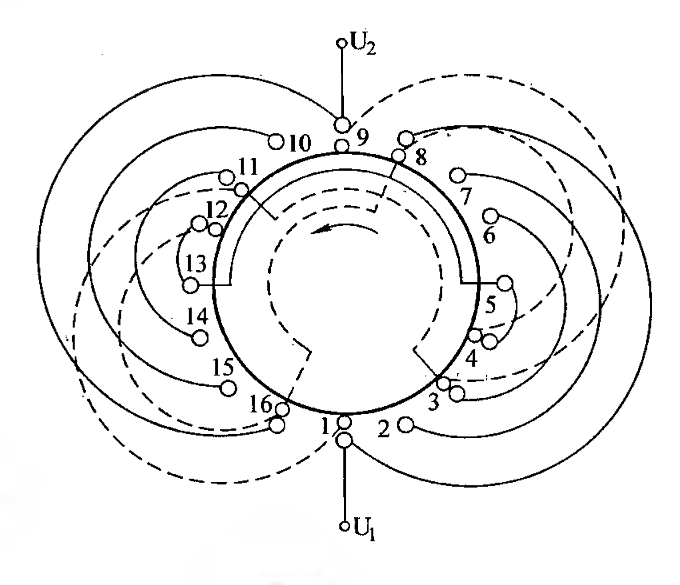


图 4-49　2 极 16 槽罩极电动机定子绕组端视图

表 4-33 分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下平面	4	5	3	6	2	7	1	8	12	13	11	14
	上平面												
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	下平面	10	15	9	16								
	上平面					4	8	3	9	12	12	11	1

采用长节距线圈，且采用使所有罩极线圈串联后再短接的形式更好些，如图4-50b所示，但 $\theta=40°$，起动转距稍小。图 4-51 为 2 极 18 槽罩极电动机定子绕组端视图。

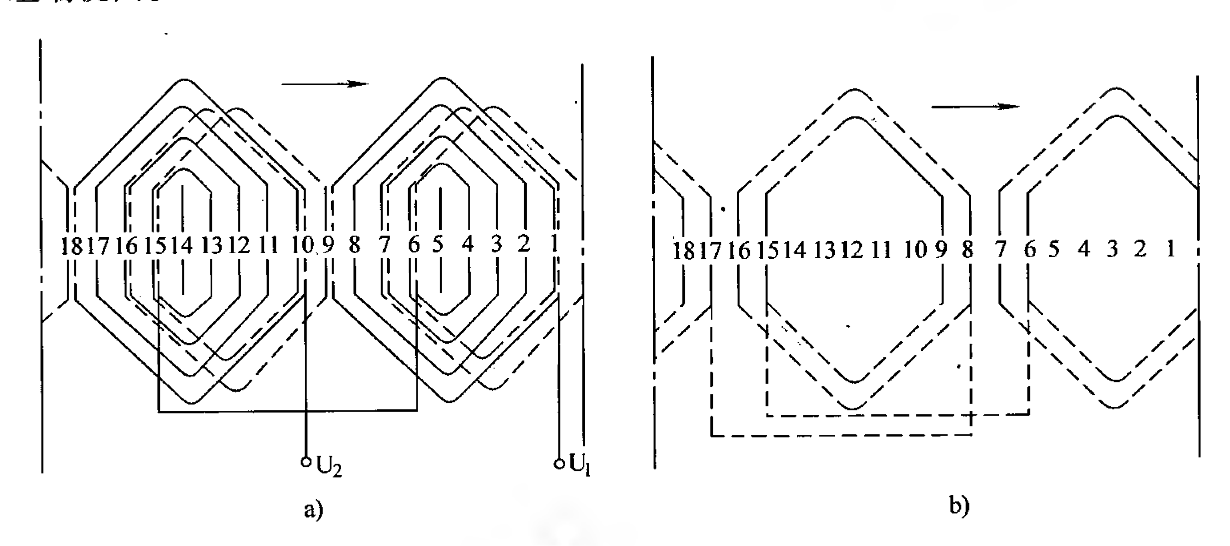


图 4-50 2 极 18 槽罩极电动机定子绕组展开图

对这种绕组仍采用分层整嵌法比较方便，嵌放顺序见表 4-34。

4. 2 极 24 槽罩极电动机定子绕组

这种绕组的主绕组在旧式电动机中多采用等匝的同样线圈，按单叠绕组嵌放，虽然嵌放较简单，但电气性能还是较差。现在改为正弦绕组，主绕组大部分采用每极相组由 5 个同心正弦绕组组成，B 类布线。这样能有效地削弱高次谐波影响。

罩极也由每极 3 个同心线圈（或 2 个同心线圈组成），如图 4-52a 所示。

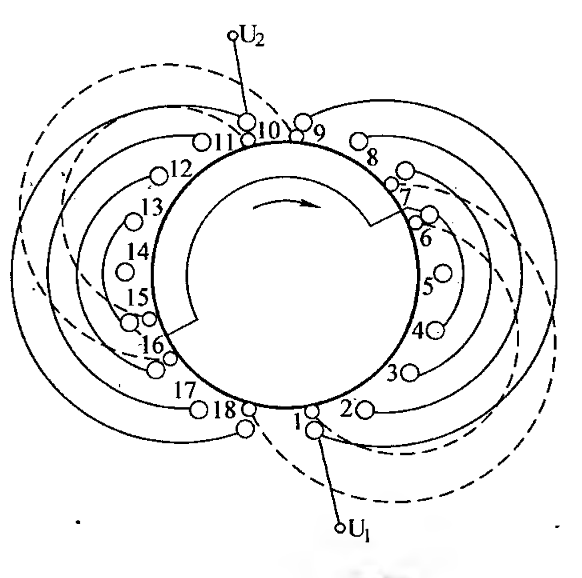


图 4-51 2 极 18 槽罩极电动机定子绕组端视图

表 4-34　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下平面	4	6	3	7	2	8	1	9	13	15	12	16
	上平面												
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	下平面	11	17	10	18								
	上平面					18	7	1	6	9	16	10	15

节距适中，可获得 $\theta=45°$。也可用节距不等的短路线圈为单极绕组，如图 4-52b 所示，$\theta=52.5°$。图 4-53 为 2 极 24 槽单极电动机定子绕组端视图。

对这种绕组的嵌放和前面绕组类似，采用分层整嵌法，嵌放顺序见表 4-28。

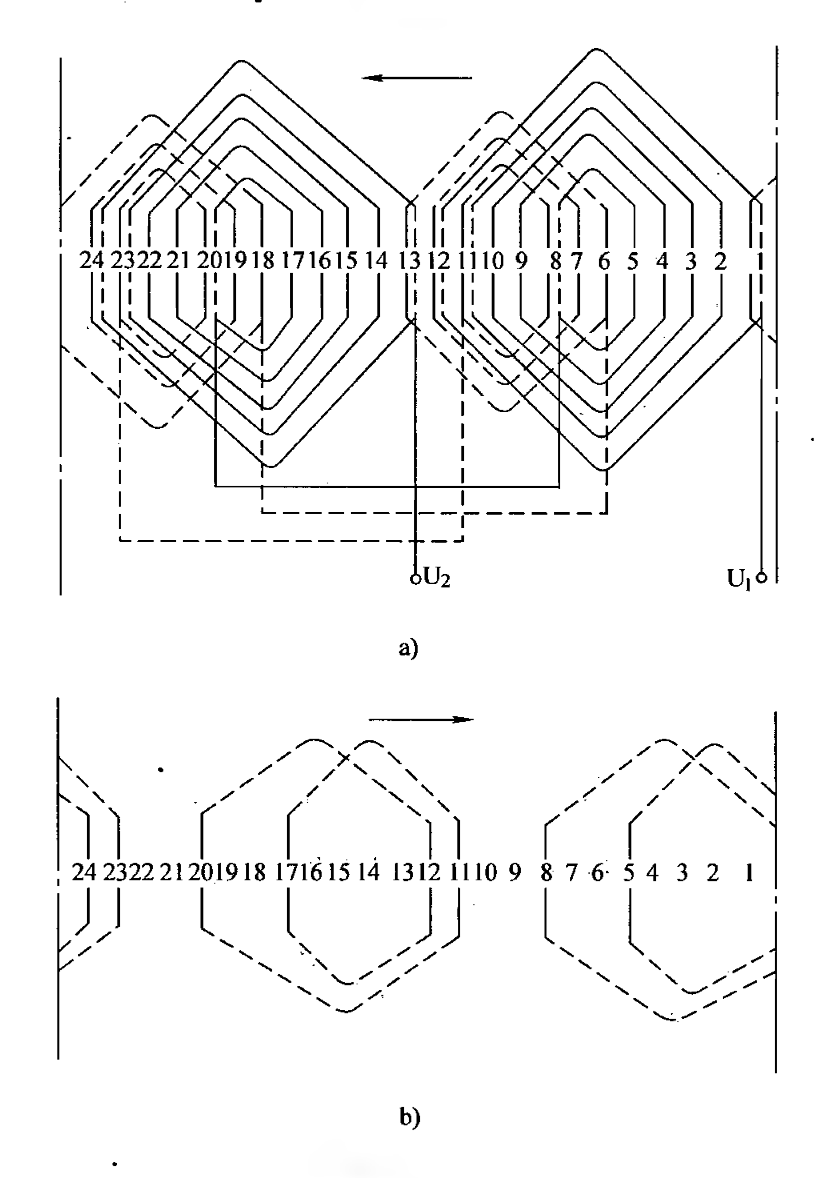


图 4-52　2 极 24 槽单极电动机定子绕组展开图

（二）4极罩极电动机定子绕组

1. 4极24槽罩极电动机定子绕组

该绕组的主绕组，每极相组由3个同心线圈组成，并为A类正弦绕组布线，绕组的占槽率较高，且基本上能削弱高次谐波而获得良好的电气性能。罩极绕组的每极下由2个同心线圈组成，且为长节距随主绕组采用反向串联，最后接为闭合回路。罩极绕组偏角 $\theta=45°$，无论起动和运行性能都适中，是一种最常用的布线形式。图4-54为其展开图，图4-55为其端视图。

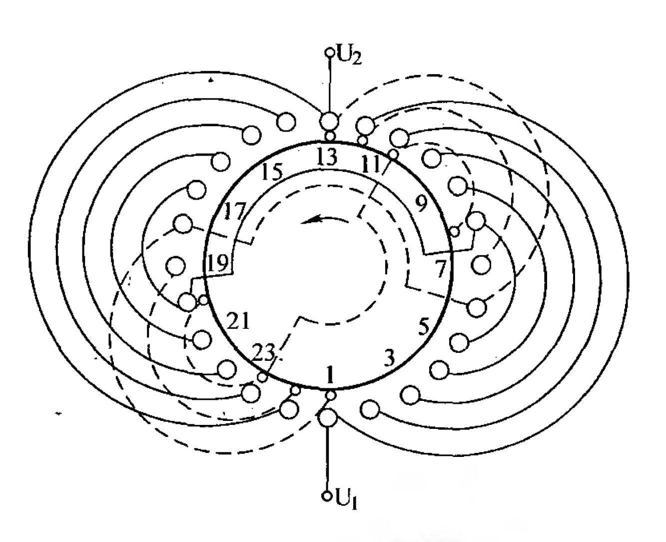


图4-53　2极24槽罩极电动机定子绕组端视图

表4-35　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下平面	5	8	4	9	3	10	2	11	1	12	17	20	16	21	15	22
	上平面																
嵌放顺序		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
槽号	下平面	14	23	13	24												
	上平面					8	11	7	12	6	13	20	23	19	24	18	1

该绕组仍采用分层整嵌嵌放，嵌放顺序见表4-36。

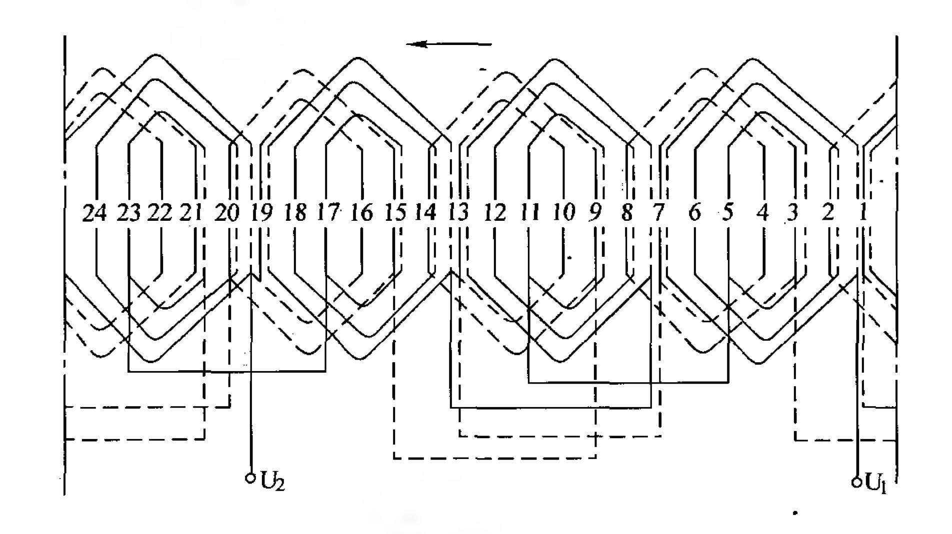


图4-54　4极24槽罩极电动机定子绕组展开图

2. 4 极 12 槽罩极电动机双转向绕组

本绕组是可正反转的特殊绕组，其主绕组的每极相组由两个同心线圈组成，相邻同相的极相组反向串联，电气性能较前面绕组的较差，但突出特点是可控制反转。主要结构特点是罩极嵌放两套绕组，一套为正转罩极绕组，另一套为反转罩极绕组。两套绕组的尾短接为公共点，每罩极绕组的首尾不是自行端接，而是通过转换开关按所需转向进行短接。该绕组在需要正反转控制的罩极电动机中采纳。其展开图和双向控制原理如图 4-56 所示，其端视图如图 4-57 所示。

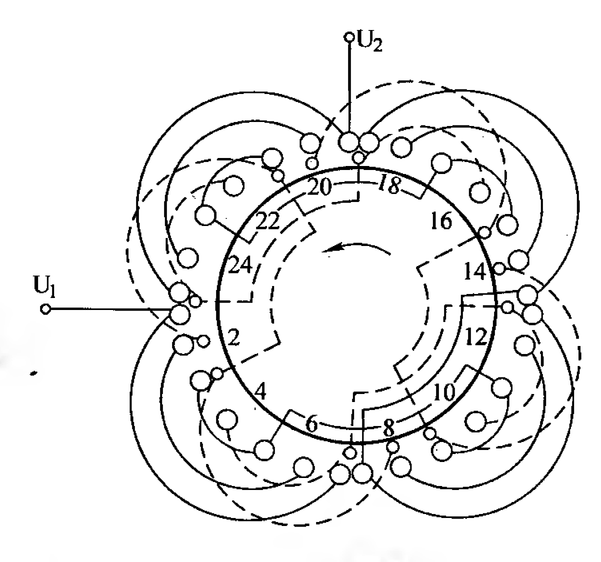


图 4-55　4 极 24 槽罩极电动机定子绕组端视图

表 4-36　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
槽号	下平面	3	5	2	6	1	7	9	11	8	12
	上平面										
嵌放顺序		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
槽号	下平面	7	13	15	17	14	18	13	19	21	23
	上平面										
嵌放顺序		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
槽号	下平面	20	24	19	1						
	上平面					4	7	3	8	10	13
嵌放顺序		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
槽号	下平面										
	上平面	9	14	16	19	15	20	22	1	21	2

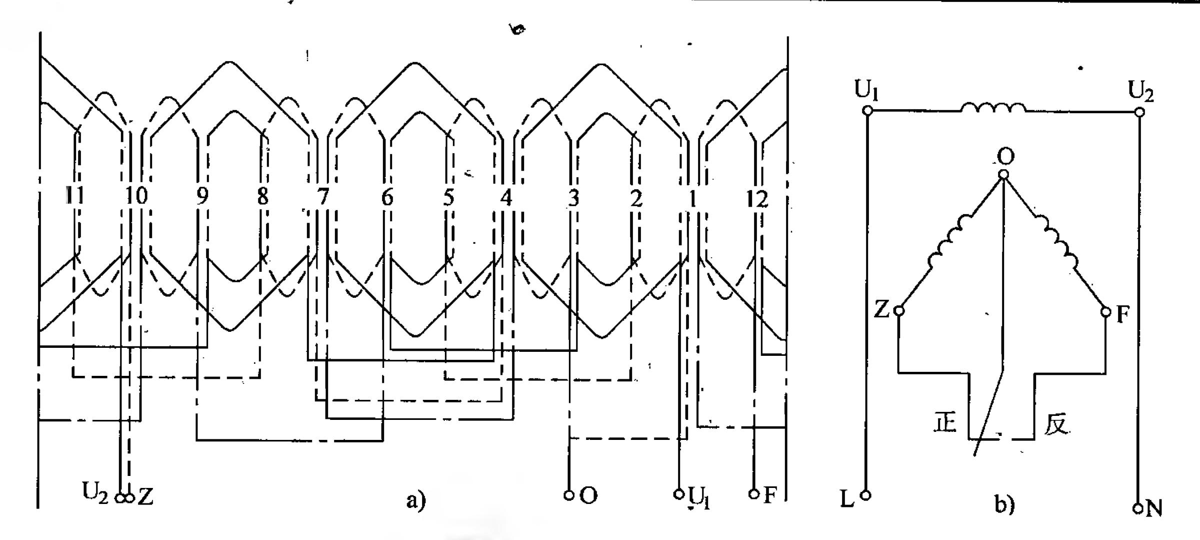


图 4-56　4 极 12 槽罩极电动机双向绕组展开图及原理图

a）绕组展开图　b）双向控制原理接线图

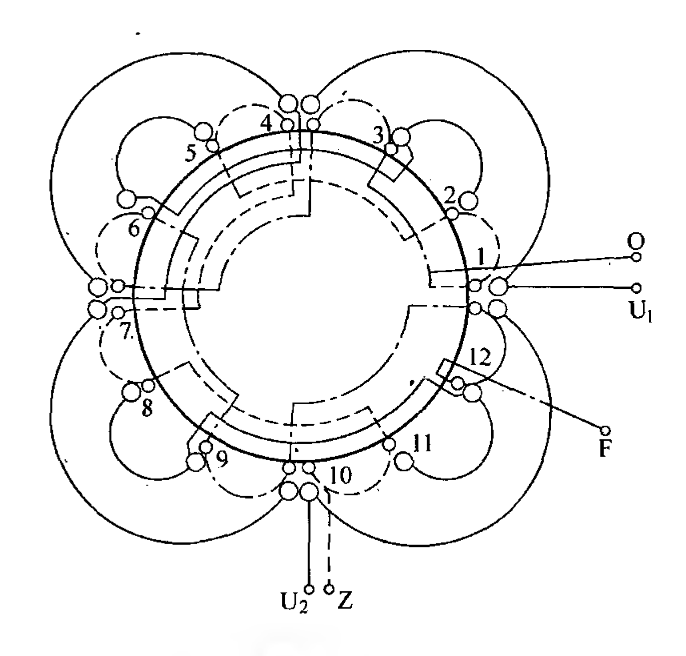


图 4-57 4 极 12 槽单极电动机双向绕组端视图

对该绕组仍采用分层整嵌法嵌放，但注意单极绕组的接线，如图 4-56 和图 4-57 所示，嵌放顺序见表 4-37。

表 4-37 分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下平面	2	3	1	4	5	6	4	7	8	9	7	10	11	12	10	1
	上平面																
嵌放顺序		17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
槽号	下平面																
	上平面	1	2	3	4	4	5	6	7	7	8	9	10	10	11	12	1

第六节 特种单相电动机定子绕组的嵌放

在常见的吊风扇中，其配套单相电动机虽然多数是电容运转型的，但要求电动机转速较低，此外，电动机的结构均是外转子内定子型，所以电动机定子绕组较前面介绍的都特殊。另外，在常用的电风扇和一些空调设备的排风扇中，因为需要调节转速，其配套的单相电动机定子中需要配置调速绕组。因此，定子绕组的结构也比较特殊。本节主要对上述两种特种单相电动机定子绕组分别予以介绍。

一、单相吊扇电动机定子绕组

单相吊扇是一种大扇叶、慢转速的风扇，常用的电动机采用 18、16、14 3 种极数，个别的用 12 极，因为极数多，每极相组只有一个线圈，绕组形式为单层链式，且为庶极布线。电动机为电容运转型，其主、副绕组在空间仍互差

90°电角度。因为吊扇俯视时的旋转方向为顺时针方向，所以电动机绕组的接线均依此转向绘制。电动机引线为 3 根，主绕组首端为 U、副绕组首端为 V。两绕组尾端接在一起的公共端为 G。

1. 18 极 36 槽吊扇定子绕组

这种绕组主、副绕组各有 9 个线圈，且节距相同，节距 $y=2$。底极接线即同相相邻线圈“首-尾”顺向串联。因此绕组线圈少，嵌放方便，是目前常用的绕组形式。其绕组展开图如图 4-58 所示，绕组端视图如图 4-59 所示。

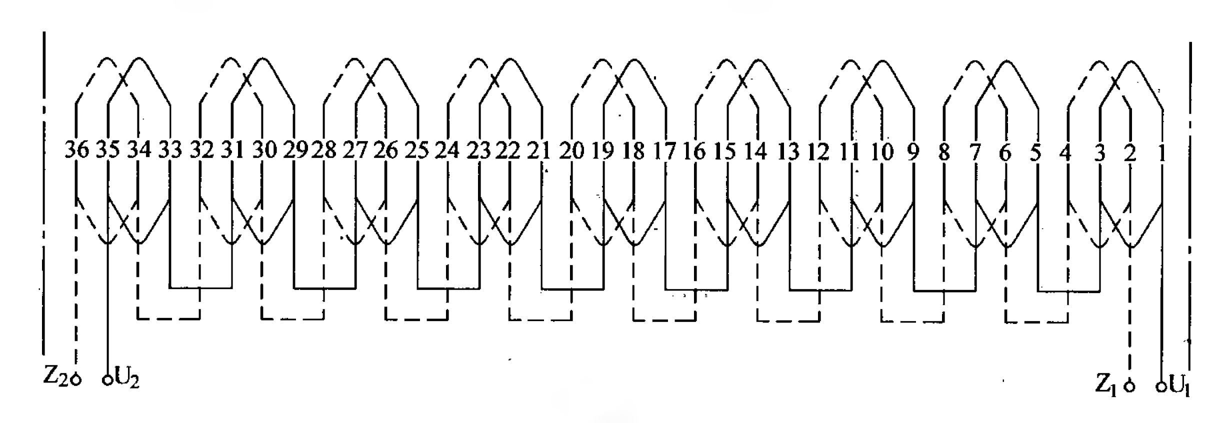


图 4-58　18 极 36 槽吊扇定子绕组展开图

对此类绕组为减少接线，可采用连绕工艺。但嵌放时要注意极性。嵌放方法有两种：

（1）分组嵌放　以主、副绕组各一个线圈为一组，先嵌主绕组线圈，后嵌放副绕组线圈，逐组嵌放，嵌线顺序见表 4-38。

（2）分层整嵌　先将主绕组线圈全部嵌入相应槽内，再嵌放副绕组线圈，使之形成不连续的双平面结构，嵌放顺序见表 4-39。

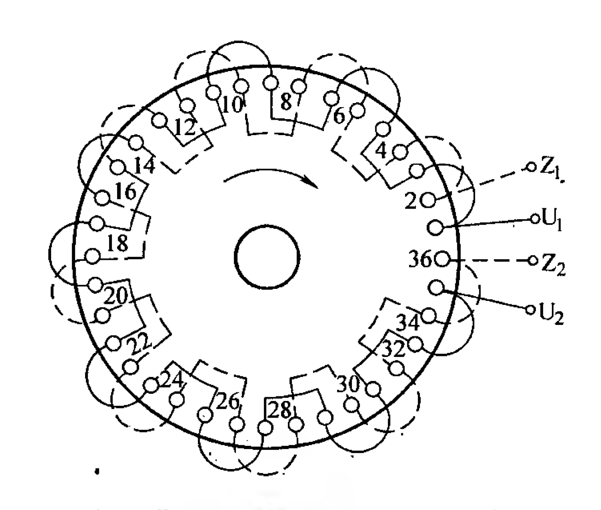


图 4-59　18 极 36 槽吊扇定子绕组端视图

表 4-38　分组嵌放

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下层	3	1			7	5			11	9			15	13			19	17
	上层			4	2			8	6			18	10			16	14		
嵌放顺序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下层			23	21			27	25			31	29			35	33		
	上层	20	18			24	22			28	26			32	30			36	34

表 4-39　分层整嵌

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
槽号	下平面	3	1	7	5	11	9	15	13	19	17	23	21	27	25	31	29	35	33
	上平面																		
嵌放顺序		19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
槽号	下平面																		
	上平面	4	2	8	6	12	10	16	14	20	18	24	22	28	26	32	30	36	34

2. 16 极 32 槽、14 极 28 槽、12 极 24 槽吊扇定子绕组

16 极 32 槽吊扇电动机常用于 1200mm 及 1400mm 吊扇中；14 极 28 槽吊扇电动机常用于 900～1050mm 吊扇中；12 极 24 槽吊扇电动机转速较高，因为结构简单，有的在 900mm 吊扇中应用。这几种电动机的定子绕组和 18 极 36 槽电动机的绕组形式相同，单链式庶极接线。主、副绕组线圈数相同，节距 $y=2$，因绕组的嵌放方便省时，故目前大都采用。嵌放的方法也相似，在此不再重复。各种电动机的绕组展开图及端视图分别如图 4-60～图 4-65 所示，供读者参考。

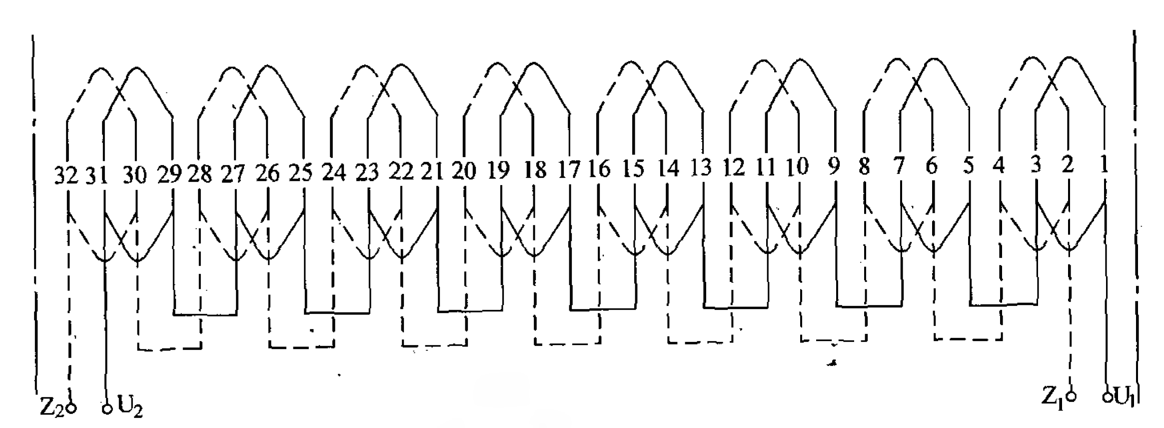


图 4-60　16 极 32 槽吊扇电动机定子绕组展开图

吊扇电动机的定子绕组还采用过双链式，为显极接线，浪费工时，故目前均被单链式绕组代替，在此不再介绍。

二、调速电扇电动机的定子绕组

电扇包括台扇、壁扇、顶扇等，目前广泛采用 4 极单相电容运转电动机，且为单向逆时针方向旋转，但有单速、双速和三速，单速电扇可外接各种调速器进行调速运行。现已普遍采用电动机定子内部抽头的调速方法，即定子嵌放主、副绕组，还增设了调速绕组（或称中间绕组）。通过

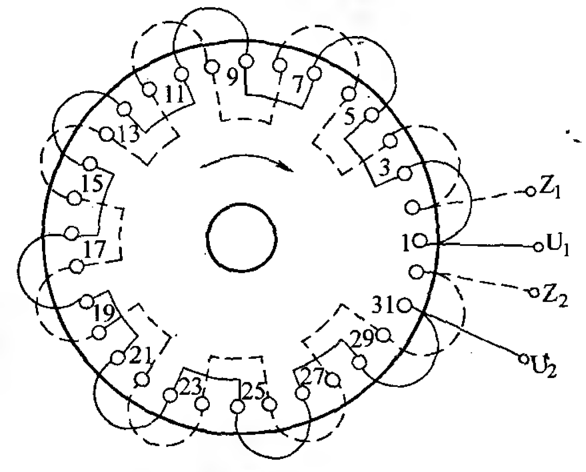


图 4-61　16 极 32 槽吊扇电动机定子绕组端视图

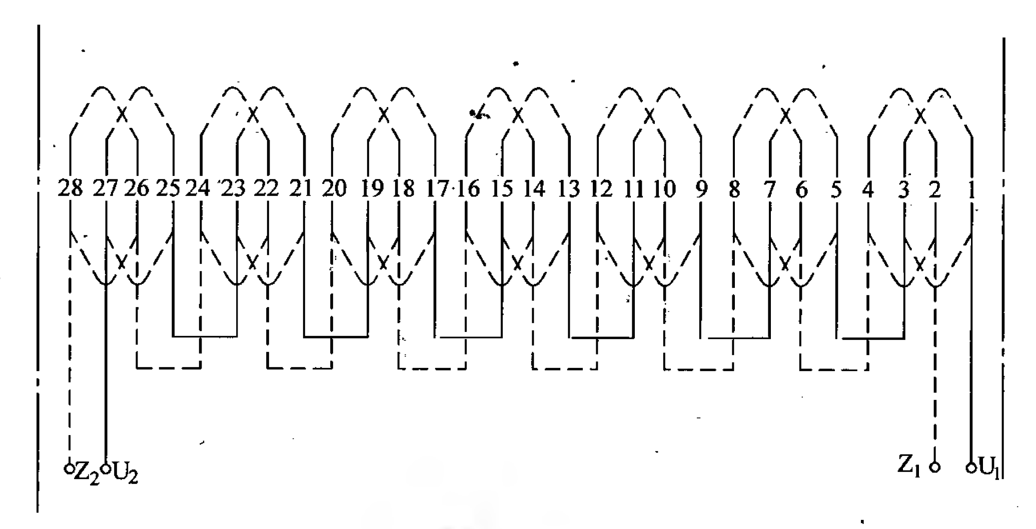


图 4-62　14 极 28 槽吊扇电动机定子绕组展开图

改变 3 个绕组的接线及抽头达到电扇的速度调节。

根据电动机主、副绕组及调速绕组在铁心内嵌放和接线不同，目前调速电扇电动机的定子绕组可分为 L 型、ϕ 型、T 型及 H 型 4 种。其中 L 型嵌连简单，应用最广泛，ϕ 型是新推出的一种形式，调速范围广，效率高，正在推广应用，T 型及 H 相对应用较少。下面分别介绍各种形式的绕组嵌放和接线。

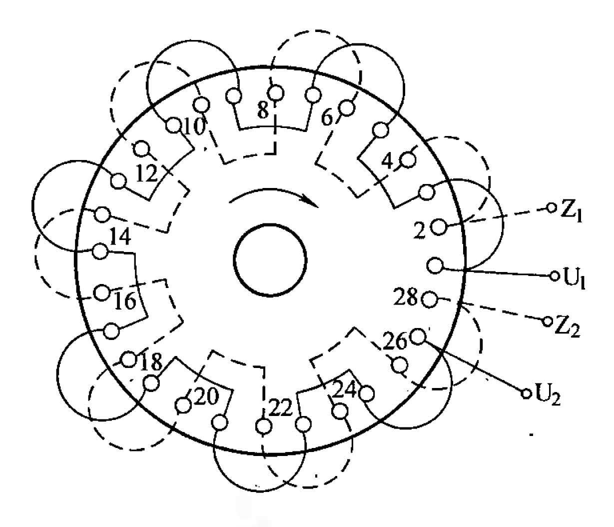


图 4-63　14 极 28 槽吊扇电动机定子绕组端视图

1．L 型 16 槽定子绕组

L 型是指定子三个绕组的接线呈 L 形，如图 4-66b 和图 4-68b 所示。它的主、副绕组在空间互差 90°，调速绕组若和主绕组同相连接，称 L-1 型；调速绕组和副绕组同相连接则称L-2型，后者采用较多。现例举 L-2 型双速和 L-2 型三速两种绕组。

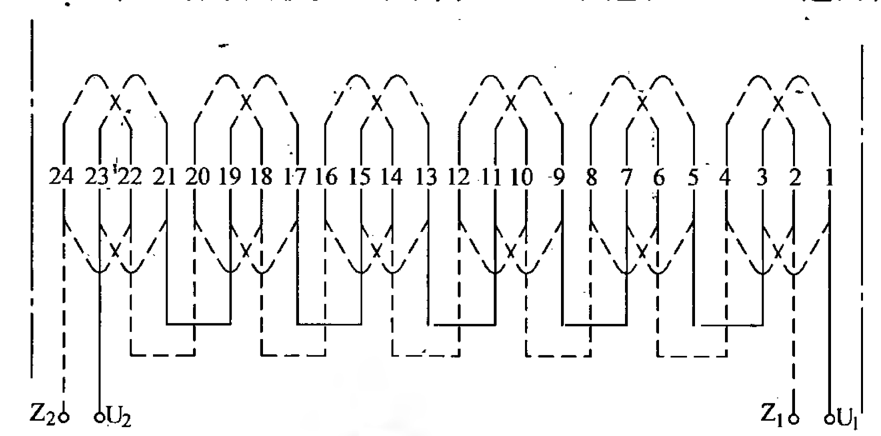


图 4-64　12 极 24 槽吊扇电动机定子绕组展开图

（1）L-2 型双速定子绕组　它的主绕组由 4 个单层线圈组成，副绕组则由 2 个单层线圈和 2 个只占 1/2 槽的线圈组成。主、副绕组均为显极布线，调速绕组是庶极布线，2 只线圈对称嵌放，且与副绕组同槽且同相，顺向串联。如图 4-66a 所示为其展开图，图 4-67 为其绕组端视图。这种绕组对铁心的利用率较高，是双速电扇主要应用的绕组形式。

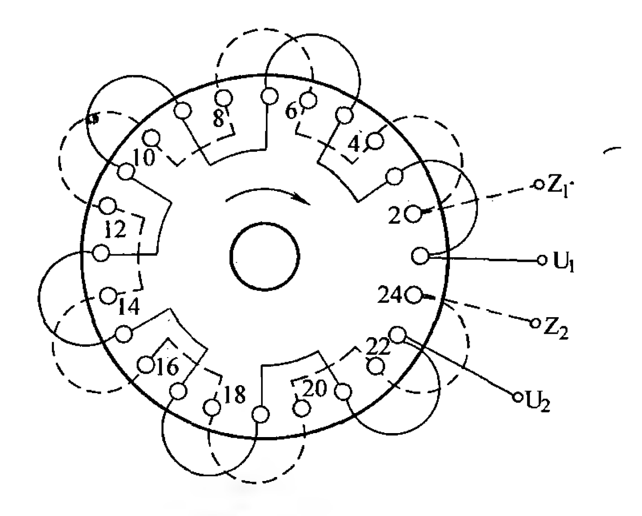
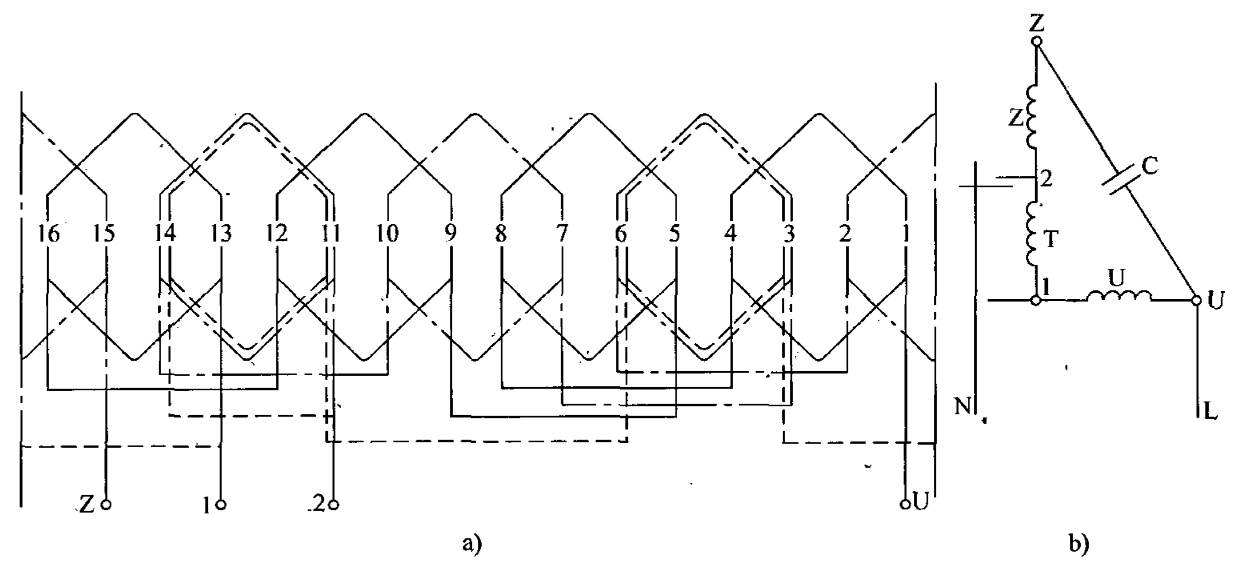


图 4-65　12 极 24 槽吊扇电动机定子绕组端视图



a)　b)

图 4-66　L-2 型双速电扇电动机定子绕组展开图及接线原理图
a）绕组展开图　b）接线原理图

该绕组可用分层整嵌法放置。嵌放顺序见表 4-40。

（2）L-2 型三速定子绕组　这类绕组的主、副绕组和调速绕组各有 4 个线圈，调速绕组和副绕组同槽上、下层嵌放。调速绕组的 4 个线圈分两组，且对称安排，两组中间有抽头，副、调绕组一致，为显极性，同极性串联。其展开图如图 4-68a 所示，接线原理图如图 4-68b

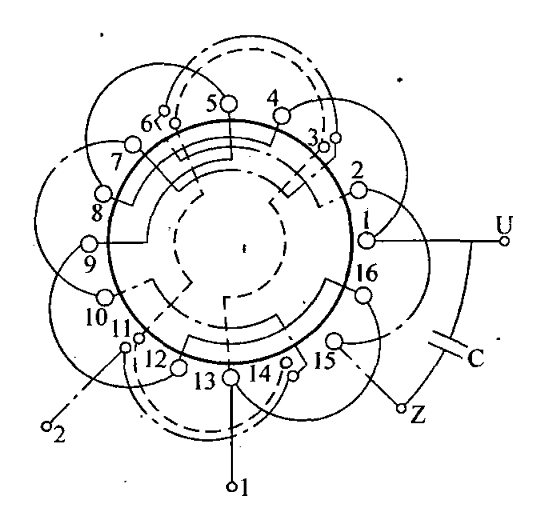


图 4-67　L-2 型双速电扇电动机定子绕组端视图

表 4-40　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
槽号	下平面	4	1	8	5	12	9	16	13		
	中平面									2	15
	上平面										
嵌放顺序		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
槽号	下平面										
	中平面	6	3	10	7	14	11				
	上平面							6	3	14	11

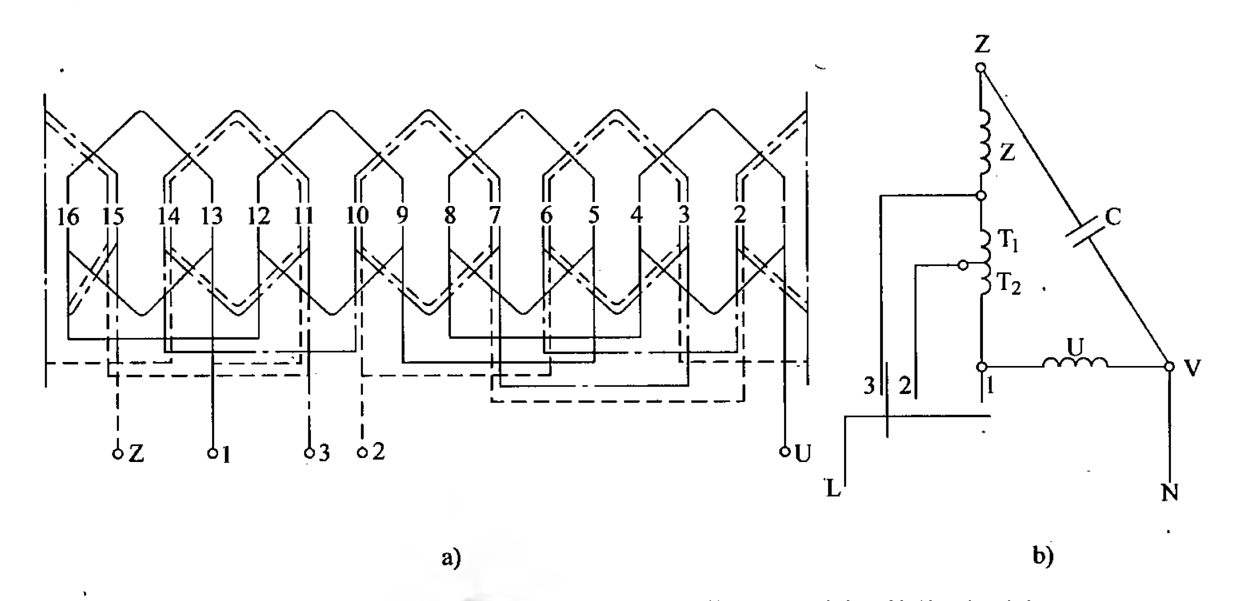


图 4-68　L-2 型 16 槽三速电动机定子绕组展开图及接线原理图
a）绕组展开图　b）接线原理图

所示，其端视图如图 4-69 所示。该绕组嵌放工艺虽然较繁，但谐波影响较少，是三速电风扇常用的绕组形式。

对该绕组也采用分层整嵌，端部为三平面绕组，其嵌放顺序见表 4-41。

2. φ-1 型三速 16 槽定子绕组

φ-1 型接法是指调速绕组和主绕组同相连接，变速时，调速绕组在高速时和主绕组并联，中速和低速时，则与主绕组串联，所以它又称串并联法。接线原理图如图4-70b 所示。

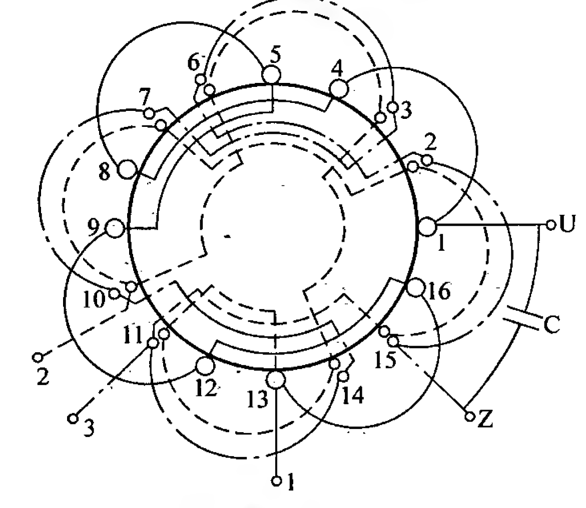


图 4-69　L-2 型 16 槽三速电动机定子绕组端视图

表 4-41 分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下平面	1	4	5	8	9	12	13	16				
	中平面									15	2	3	6
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	中平面	7	18	11	14								
	下平面					15	2	3	6	7	10	11	14

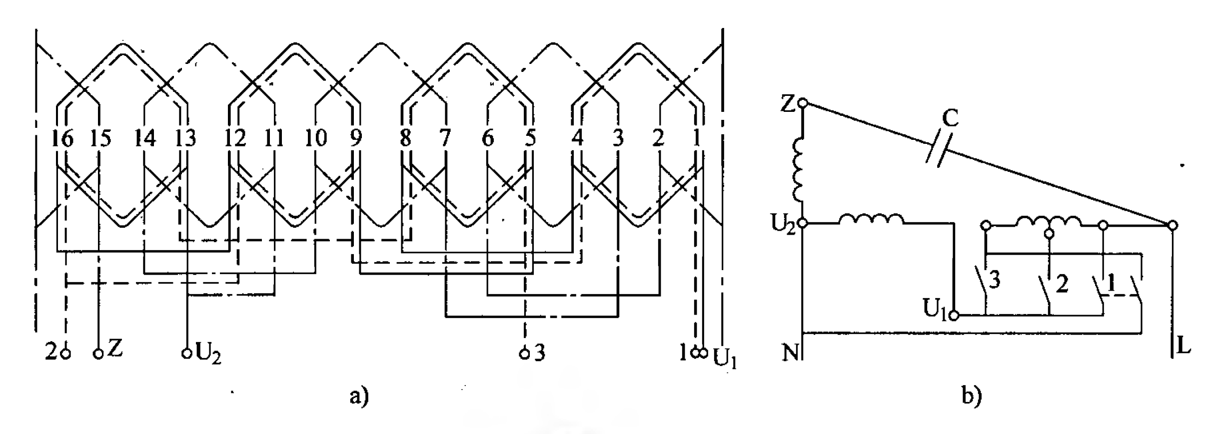


图 4-70 φ-1 型三速 16 槽定子绕组展开图和接线原理图
a）绕组展开图 b）接线原理图

主、副调速绕组都是 4 个线圈，显极布线，调速绕组和主绕组同槽嵌放。但调速绕组的 4 个线圈分别为对称的两组，两组为顺向串联，使同组两线圈极性相同，而两组线圈极性相反。主、副绕组的同相相邻线圈仍为反向串联连接，即“首-首”“尾-尾”相接。绕组展开图如图 4-70a 所示，其绕组端视图如图 4-71 所示。

嵌放方法亦为分层嵌放，见表4-42。

3. T-2W 型双速 16 槽定子绕组

该绕组的主、副、调三绕组不是嵌放于同槽内，类同单层链式绕组形如“W”。三个绕组接线形如“T”，且调速绕组和副绕组同相位，故为 T-2W 型。

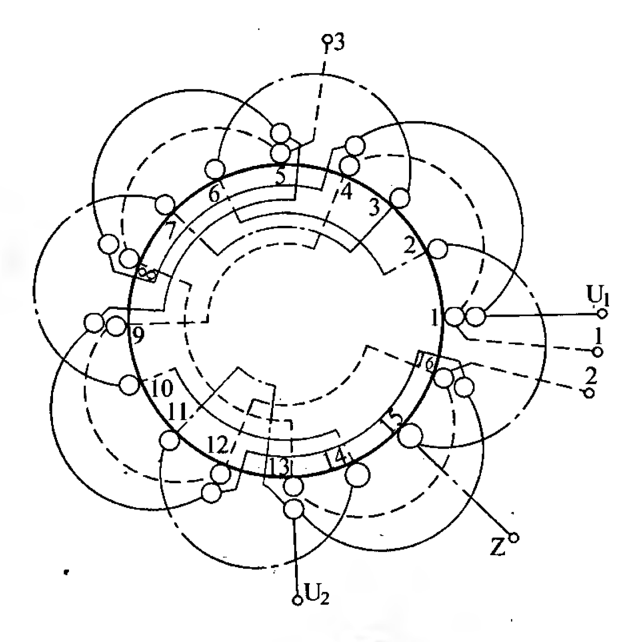


图 4-71 φ-1 型三速 16 槽定子绕组端视图

三个绕组中，主绕组 4 个线圈为显极接线，“首-首”“尾-尾”相接。而副绕组和调速绕组各 2 个线圈，安排在对称位置，为庶极接线，“首-尾”相接。图 4-72a为其展开图，4-72b 为接线原理图，图 4-73 为绕组端视图。

表 4-42　分层嵌放

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
槽号	下层	1	4	5	8	9	12	13	16	1	4	5	8
	上层												
嵌放顺序		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
槽号	下层	9	12	13	16								
	上层					15	2	3	6	7	10	11	14

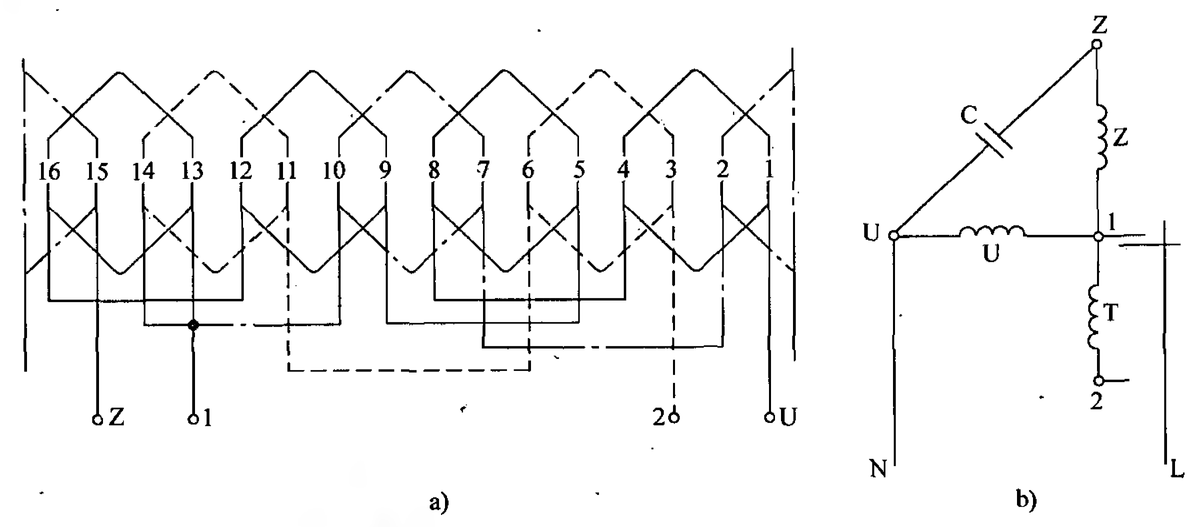


图 4-72　4 极 16 槽 T-2W 型双速电动机定子绕组展开图和接线原理图
a）绕组展开图　b）接线原理图

对该绕组嵌放为分层嵌放法，嵌放顺序见表 4-43。

4. H-2 型三速 16 槽定子绕组

H（h）型抽头调速是由 L-2 调速演变而来。它是将电容器改接到主绕组中间抽头处，故称 h-2 型。它的原理接线图如图 4-74b 所示。其调速绕组与副绕组同相位，副绕组有 2 个线圈安排在对称位置，用庶极接线。调速绕组有 2 个整槽线圈和 2 个半槽线圈，也对称分布成两组；主绕组是显极接线，但 4 个整槽线圈也分成两组并对称分布于定子上，同组线圈顺向串联使极性一样，可是两组极性必须相反。电容器一端接副绕组相头 U 点，另一端接到主绕组抽头 O

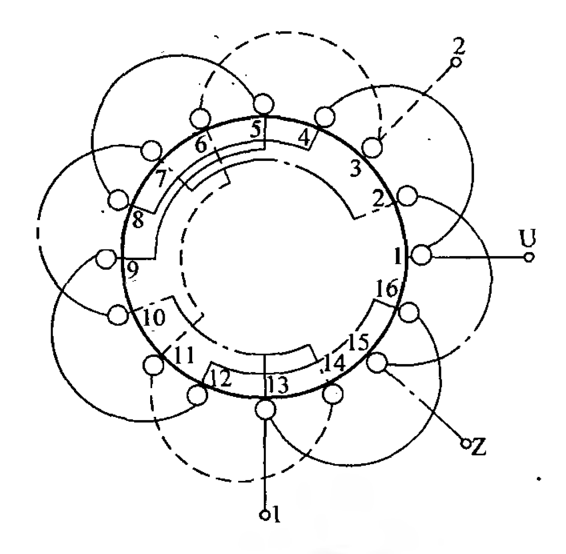


图 4-73　4 极 16 槽 T-2W 型双速电动机定子绕组端视图

点，其绕组展开图如图4-74a所示，绕组端视图如图 4-75 所示。

表 4-43　分层嵌放法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
槽号	下层边	1	4	5	8	9	12	13	16								
	上层边									3	6	7	10	11	14	15	2

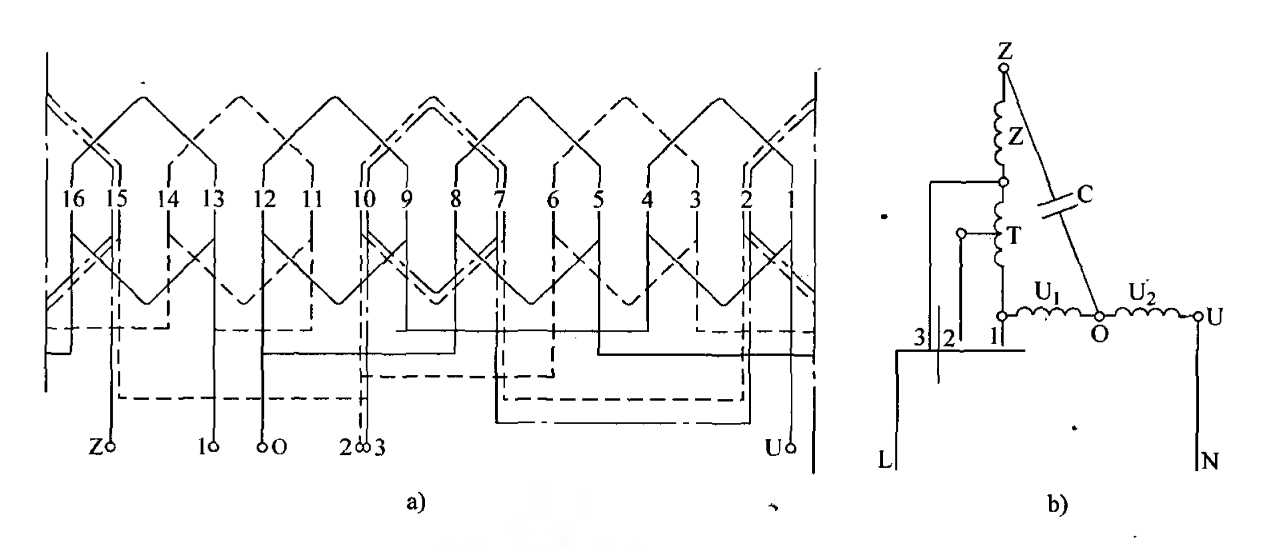


图 4-74　H-2 型三速 16 槽电动机定子绕组展开图和接线原理图

a）绕组展开图　b）接线原理图

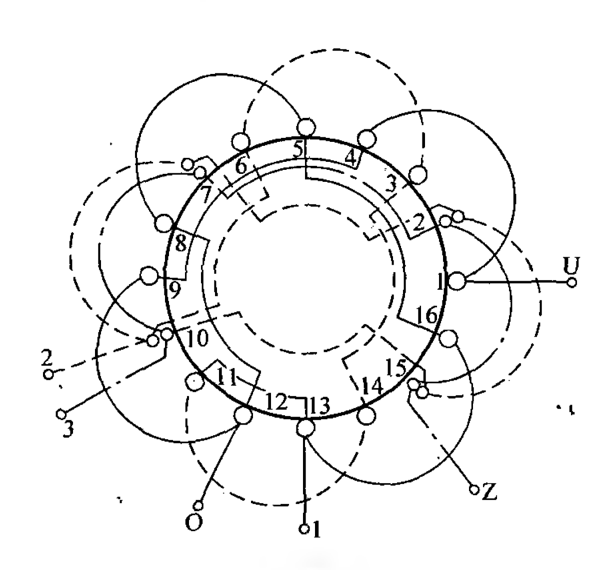


图 4-75　H-2 型三速 16 槽电动机定子绕组端视图

此绕组虽然结构较复杂，嵌放费工时，但调速方便，性能良好，节省能源。但必须指出，L 型调速不能随意改成 h 型，绕组参数必须重新设计。

对该绕组仍分层嵌放，先对称嵌放主绕组，再将调速绕组对称嵌放，最后再嵌放副绕组。嵌放顺序见表 4-44。

表 4-44　分层整嵌法

嵌放顺序		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
槽号	下平面	1	4	5	8	9	12	13	16		
	上平面									15	2

嵌放顺序		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
槽号	下平面										
	上平面	3	6	7	10	11	14	15	2	7	10

第五章　异步电动机绕组故障的检查和修复

异步电动机投入运行后，由于使用、维护不当，会出现各种故障。尤其是电动机中的绕组，因为它主要由电磁铜线和绝缘材料组成，很容易老化或损坏。绕组常见的故障有：绕组绝缘电阻偏低、绕组接地、绕组短路、绕组断路、绕组嵌反与接错、绕组线径及匝数错误等。对绕组出现的故障应该及时的检查和修复，以保证电动机的正常工作。本章主要就绕组的故障介绍对其检查和修复的方法。

第一节　绕组绝缘电阻偏低的检查和处理

一、绝缘电阻偏低的原因

电动机的绝缘电阻主要指定子及转子绕组对地（机座）之间和绕组的各相之间的绝缘电阻。合格的绝缘电阻值，对于额定电压1kV以下的电动机最低0.5MΩ；1kV以上的电动机最低为1MΩ/1kV（热态）。如果绝缘电阻值低于合格值，电动机在运行时，绕组就存在被击穿烧坏的可能。

电动机绝缘电阻偏低，一般有以下几个方面的原因：

（1）绕组受潮　电动机较长时间停用或存储，受周围潮湿空气、雨水、盐雾、高腐蚀性气体及灰尘油污等侵入，使绕组附着一层导电物质，引起绝缘电阻的下降。

（2）绝缘老化　使用较长时间，电动机过热状态工作，受电磁力的作用，主绝缘出现龟裂、分层、酥脆等轻度老化现象。

（3）绝缘存在薄弱环节　如：选用的绝缘材料质量不好，厚度不够，在嵌线时被损伤等，或者原来绝缘处理不良，经使用后绝缘状态变得更差，以致整机或者一相绝缘电阻偏低。

二、绝缘电阻的检查

绝缘电阻的检查一般用绝缘电阻表（俗称兆欧表），额定电压500V以下的电动机，用500V绝缘电阻表；500～3000V电动机，用1000V绝缘电阻表；3000V以上的电动机，用2500V绝缘电阻表。

绝缘电阻表在摇测前，应分别对绝缘电阻表作一次开路和短路试验。即：将连接线开路，摇动手柄，指针应指向“∞”处；然后将两根连接线碰接，轻摇手柄，指针应指向“0”处，否则说明绝缘电阻表有问题，需检修好才能使用。

测量电动机的绝缘电阻时，绝缘电阻表接地端子（E或N）引出的一根线接

于机壳上，线路端子（L）一端接于绕组端头，摇手柄，转速均匀稳定，约 120r/min，待指针指示稳定后再读数。

三、绕组的干燥处理

绕组绝缘电阻偏低，大多数是由绕组受潮造成的，绕组受潮一般要进行干燥处理。对于绝缘轻度老化或存在薄弱环节的绕组，干燥后还要进行浸漆与烘干。下面介绍常见的几种干燥方法。

1. 烘房（烘箱）干燥处理

对于备有烘房或烘箱的地方，这是最简便的方法，它适用于任何受潮程度的电动机。具体操作方法是：将受潮电动机放入烘房（烘箱）内，温度由低到高逐渐调节到 100℃左右，即可连续进行到烘干为止。

2. 热风干燥法

此法适用于任何型式及受潮程度的电动机，操作方法如下：用红砖砌成夹层干燥室，夹层中填入石棉粉等隔热材料，利用鼓风机将电热丝产生的热量变成热风，吹拂电动机，将电动机内的潮气带走，如图 5-1 所示。改变电热丝的接法或数量可调节温度，利用分道阀门调节风量。

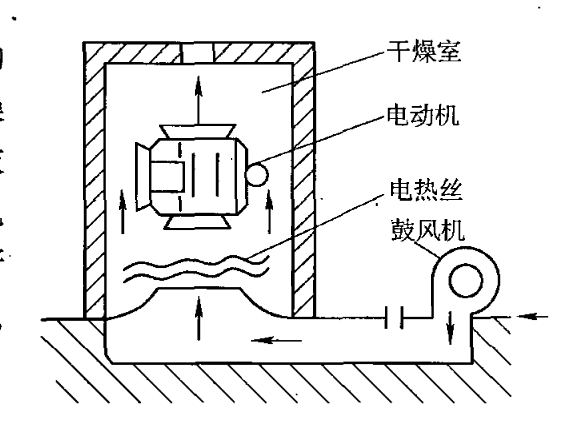


图 5-1 热风干燥示意图

3. 光热干燥法

容量较小及轻度受潮的电动机，可利用红外线灯泡或普通白炽灯泡的光热效应进行烘烤。此法简单可行。改变灯泡大小、数量或距离即可改变烘烤温度。

4. 电流干燥法

电流干燥法的特点是电动机内部温度高于外部温度，故干燥迅速有效。对于被水浸泡过的电动机，为防止绝缘膨胀或被击穿，或者采用直流时可能产生电解作用，一般不要采用此法干燥。如果采用，应先用前述方法烘干到一定程度后，再用电流法干燥。

1）干燥笼型电动机，采用单相交流电或直流电，用调压器、变阻器或改变绕组接法来调节电流。一般控制在被烘干电动机额定电流的 50%～70%（通常每 1kW 取 1A），所需电压约为额定电压的 7%～15%，电源（变压器）的容量 S（kVA）为：

$$S = \frac{(0.07 \sim 0.15)U_N \times (0.5 \sim 0.7)I_N}{1000}$$

式中，U_N 和 I_N 分别是电动机的额定电压（V）和额定电流值（A）。

电流干燥法的典型接线如图 5-2 所示。

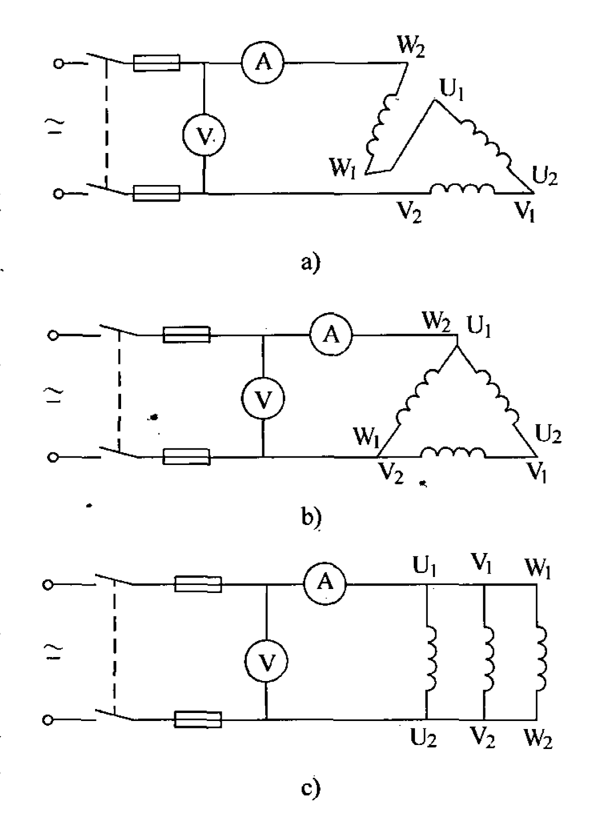


图 5-2 笼型电动机电流干燥接线图
a）串联 b）串并联 c）并联

其中图 5-2a 用于烘干 6 个出线头的电动机，图 5-2b 用于烘干 3 个出线头的电动机，图 5-2c 用于烘干小型电动机。采用串联接线时，三相绕组按图 5-2a 连接，将其中一相反接，使三相感应电动势同方向，在同样电压下绕组电流比正接法减小 1/3 ~ 1/2，从而可以直接采用 220V 单相电源烘烤 10kW 以下的电动机。对 100kW 以下的电动机，也可用交流弧焊机作电源可以满足烘干电流的要求，调节也十分方便。

采用电流烘干法时，一般是将转子抽出，以利于潮气外逸。如果放入转子以减小定子电流，则应将转子固定住，或在定子内放入与铁心长度相等的铁管，也能起到限制电流的作用。如果用 220V 市电烘烤 10kW 电动机，在定子内放入 170mm 长，ϕ60mm × 2mm 的钢管 5 根，电流可控制在 9A 左右。

2）对绕线转子电动机，将转子绕组串接水电阻，固定住转子。定子绕组接三相电源，其电压为额定电压的 15% ~ 20%。调节水电阻，使定、转子电流约为各自额定值的 50% ~ 70%，如果缺乏从定子绕组通电所需要的电压，也可以改为从转子供电，其电压为转子开路电压的 15% ~ 20%。

当转子直接短路时，可以同笼型电动机一样，从定子绕组加单相交流或直流电进行烘干。绕线转子电动机采用交流电干燥时，应特别注意监视转子端部钢绑线的温度不超过 95℃。

5. 铁损干燥法

这种方法是在定子铁心上绕以励磁线圈并通入单相交流电，使定子铁心产生磁滞及涡流损耗而发热，如图 5-3 所示。

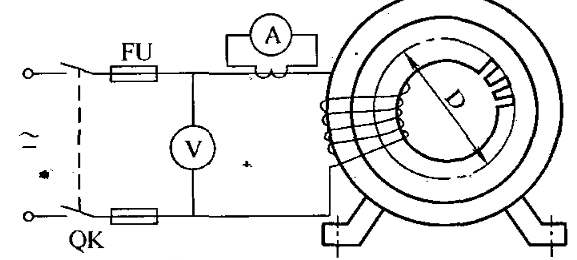


图 5-3 定子铁损干燥接线图

交流电源通过刀开关 QK 和熔断器 FU 接到线圈两端，电压及电流可分别用万用表及钳形电流表测量。此法适用于烘干大型电动机，能量损耗小。绕线前将转子抽出，定子内膛清扫干净，绕线方向一致，所需励磁线圈匝数 N 按下式计算：

$$N = \frac{45U}{S_{Fe}}$$

式中，U 为电源电压（V）；S_{Fe}为铁心截面积（cm^2）。

励磁电流 I（A）按下式求得：

$$I=(1.5\sim2.5)\frac{\pi D}{N}$$

式中，D 为定子铁心平均直径（cm）。

根据算得的电流值，即可选择绝缘导线的截面积。励磁线圈绕好后，通电前要测量电动机绕组及励磁线圈的绝缘电阻，在上中下 3 个部位安放 3 支温度计，它们的感温球紧贴铁心，并用油灰粘封，升温速度为 5～8℃/h，最高温度控制在 90℃左右。要特别注意上部温度，以免局部过热，改变励磁线圈匝数或周期性的切断电流可调节干燥温度。

四、干燥处理的注意事项

1）干燥前应将电动机吹扫干净，如果用电流干燥法，机壳必须接地，以防触电。

2）对封闭式电动机，当整机通电加热时，应拆开端盖以散出潮气，否则潮气停留在电动机内部，当温度下降时，潮气侵入绕组，使绝缘电阻再度下降。

3）干燥电动机时，除保留必须的通风排气以外，应将电动机与周围空气隔绝起来，以减少热量损失。

4）干燥时要用温度计测量绕组温度，升温速度一般不大于 10℃/h，绕组的最高加热温度控制在 100～110℃。

5）在干燥过程中，每隔 1h 测量并记录一次温度、电流及绝缘电阻（摇测绝缘电阻时要断电）。开始时由于绕组温度的提高及潮气的大量扩散，绝缘电阻呈下降状态，降到某最低值后，便逐渐回升，最后 3～5h 内趋于稳定或微微上升，当绝缘电阻达到 5MΩ（380V 电动机）以上时，干燥即可结束。

第二节　绕组接地故障的检修

一、绕组接地的原因

绕组接地俗称碰壳。当发生绕组接地故障时，电动机起动不正常，机壳带电，熔断器熔断，用绝缘电阻表测量时绝缘电阻为零。绕组接地的原因有以下几种：

1）绝缘热老化：电动机使用日久或经常过负荷运行，导致绕组及引线的绝缘热老化，降低或丧失绝缘强度而引起电击穿，导线绕组接地。绝缘热老化一般表现为：绝缘层发黑、枯焦、酥脆、剥落等。

2）机械性损伤：嵌线时主绝缘受到外伤，线圈在槽内松动，端部绑扎不牢，冷却介质中尘粒过多，使电动机在运行中线圈发生振动、摩擦及局部位移而

损坏绝缘。

3）局部烧损：由于轴承损坏或其他机械故障，造成定、转子相擦（扫膛），铁心产生局部高温烧坏主绝缘而接地。

4）铁磁损坏：槽内或线圈上附有铁磁物质，在交变磁通作用下产生振动，将绝缘层磨损（洞或沟状）。若铁磁物质较大，则产生涡流，引起绝缘的局部热损坏等。

二、接地故障的检查

首先用绝缘电阻表或万用表确定故障相，然后采用下列方法查找接地点。

1）校验灯法：拆下端盖，抽出转子，将一只40～60W的灯泡串接于220V相线与绕组之间。如图5-4所示，若灯泡正常发光，用木（竹）片敲打或撬动槽口处线圈，灯闪时的撬动处即为接地点。

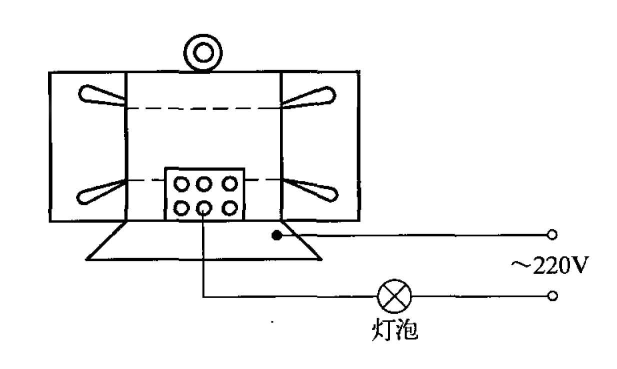


图5-4　用校验灯查找接地点

2）电流烧穿法：在线圈和铁心之间加低压电源，其接线如图5-5所示。图中TV为自耦变压器，TL为行灯变压器，电流可用钳形电流表测量。小容量电动机通以2倍额定电流30s，大容量电动机通以0.2～0.4倍额定电流，高压电动机限制在5A以内。通电后，仔细观察定子内膛、槽口等部位，冒烟或绝缘有焦痕处即是接地点。

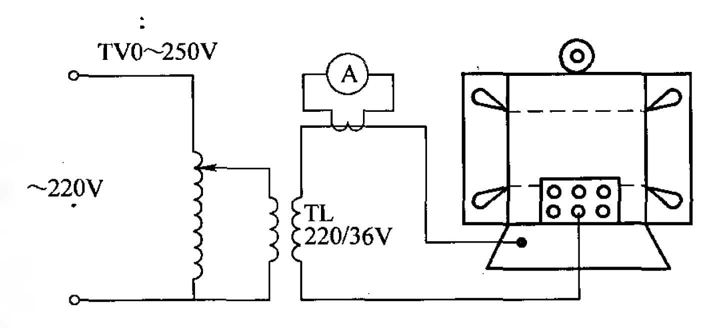


图5-5　电流击穿法接线图

3）电流定向法：将故障相（例如U相）首末端（U_1、U_2）并联加直流电压，电源可用6～12V蓄电池并、串联可调电阻R_0，调节可调电阻，使电路中电流为0.2～0.4倍额定电流，线圈内的电流方向如图5-6所示。由图可见，故障所在槽内的电流一同流向接地点。将小磁针逐槽移动，磁针改变方向处即为接地点所在的槽。在将磁针沿槽轴向移动，磁针在故障点g处改变指向。

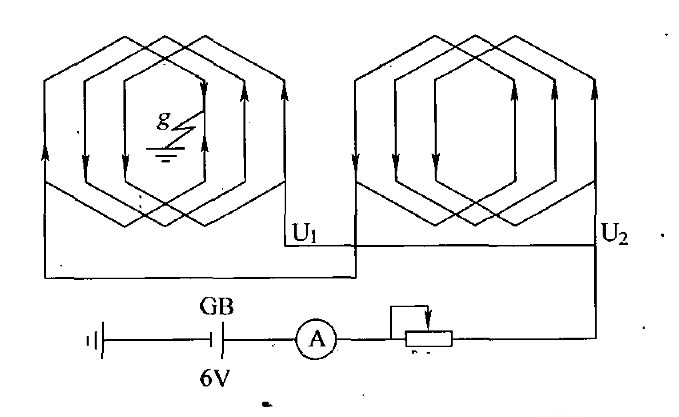


图5-6　电流定向法接线图

4）电压降法

此法适用于金属性接地的高压电动机，其接线如图 5-7 所示。测试可用交流电或直流电，用交流电时应将转子抽出。调节变阻器（用交流电时调节调压器）使电压表（可用万用表电压挡）指示适当数值 U。设 U_1、U_2 分别为绕组首端和末端至接地点的电压值，因 $U_1+U_2\approx U$，U_1 点至接地点 g 的距离与电压降成正比，即

$$\frac{L_1}{L}=\frac{U_1g}{U_1+U_2}=\frac{U_1}{U}\times 100\%$$

式中，L_1 为绕组首端至接地点的距离；L 为绕组总长度。

若已知绕组的总长度，即可算出绕组首端至接地点的距离。

【例 5-1】 一台 6kV 的电动机，U 相发生金属性接地，试用电压降法查找接地点。

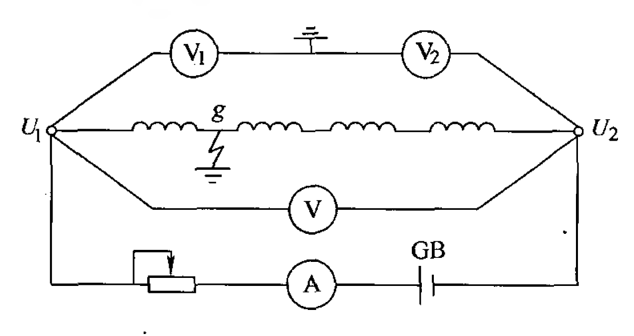


图 5-7　电压降法接线图

解：按图 5-7 接线，采用电焊机调压供电。测得 $U=60V$，$U_1=17V$，$U_2=42.5V$。代入上面公式得

$$\frac{U_1}{U}=\frac{17}{60}\times 100\% = 28.3\%$$

该电动机的 U 相有 16 个线圈串联，即接地点在 $16\times 28.3\% = 4.53$ 个线圈处。重点检查 4 和 5 两个线圈的两端，结果在第 5 个线圈端槽口处发现接地点。

三、接地故障的修复

1．局部修理

如果接地点在槽口等易见处，可将绝缘垫片或天然云母片插入铁心与线圈之间，用绝缘带包扎好，涂上自干绝缘漆即可。如果损坏在槽内上层边，可打出槽楔，修补槽绝缘，或将线匝翻出槽外处理。若接地点在槽底，则需抬出一个节距的线圈边。此时应将绕组加热软化，操作要小心，处理完毕，应浸漆一次。

2．面层嵌线法

这是更换部分线圈的好办法。其工艺过程如下：将线圈加热到 110℃ 左右，对单层绕组，迅速将损坏线圈拆除，用压板将原来在坏线圈上面的那一部分绕组端部轻打，下压留足新线圈面层嵌放的空位，并将留下的绕组整形，然后换上新的槽绝缘，将新线圈嵌入槽内。对双层绕组，趁热打出槽楔，剪断坏线圈两端并迅速拆除，然后补充适当的槽绝缘，用等于铁心长度的薄铁片从槽口中把保留的上层线圈边压到槽底，其面上留出嵌放新线圈的空位，将留下的线圈整形后，放入新的层间绝缘，再将新线圈嵌入槽中。

3. 废弃法

找出接地点后，如果无法进到局部修理，可将该线圈切除，将相邻两线圈跨接串联起来。所以废弃法又叫跨接修理法。具体做法如图 5-8 所示。

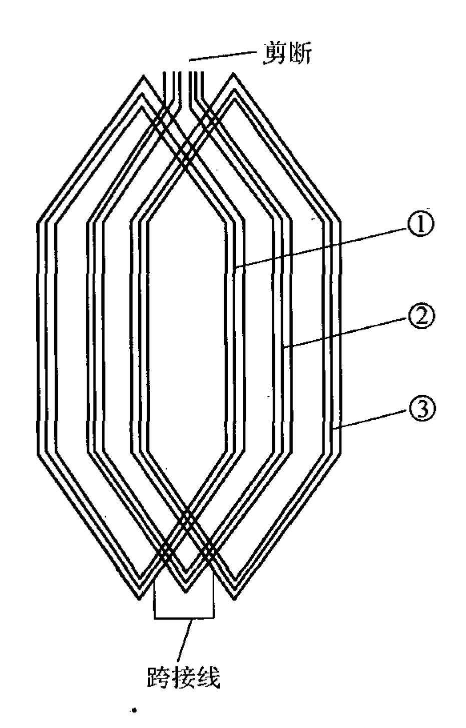


图 5-8 废弃修理

当线圈②内部有匝间短路时，将线圈②端部割断，并分匝包好绝缘，用跨接线把线圈①和③连接起来，废弃法适用于单路星形绕组，一般切除匝数不得超过绕组总匝数的 10%，切除线圈后，电动机的输出功率要降低。对多路星形或三角形联结的绕组，为了保持磁通的平衡，需相应切除其他支路的完好线圈，故不宜采用废弃法。

废弃法是一种应急修理方法，事后应采取补救措施，及早将跨接线和故障线圈替换下来重修。

4. 高压线圈接地故障的局部修理

1）取出故障线圈。首先割断线圈端部绑绳，取下垫块，退出故障线圈槽中的槽楔。如果接地点在上层边，只要翻出槽外即可处理，若接地点在下层边，则需要抬出一个节距内的线圈上层边，才能取出故障线圈。取线圈时，先在端部斜边部位穿入几根棉绳或白布带（如直线部分较长，再从径向通风槽穿入棉绳，使中部与两个端部同时受力），然后用电焊机作电源通以 1.5 倍的额定电流加热。当线圈表面温度约 80℃时（手摸略感烫手），立即断电，趁热打出槽楔，用木棒略微抬起上层边，将两端的棉绳移近槽口处，使左、中、右三点同时着力，将线圈边抬出。若仍抬不出，应分析原因，不要猛力硬抬。如果温度不够，应重新加热。注意不使端部产生过大的变形，也不要损坏抬出边的绝缘。

2）修理故障线圈。剥去直线部分的统包绝缘并延伸至端部。在端部，剥去部分 A 和斜坡部分 L，如图 5-9 所示，其中剥去部分 A 取 50 ~ 100mm，斜坡部分 L 的长度为

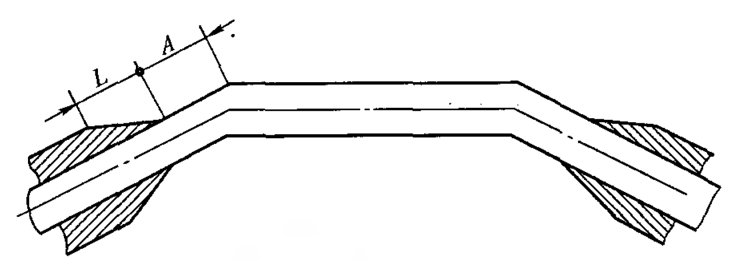


图 5-9 故障线圈边的绝缘处理

$$L = 10 + \frac{U_N}{200}$$

式中，U_N 为电动机额定电压（V）。

检查匝间绝缘完好后，先刷 1410 号云母带漆，再用 5032 号沥青云母带连续

半叠包。上、下层对缝要错开，包扎要紧密。如云母带已干，可边包边刷 1410 号漆，包到原来厚度后，最外面半叠包一层白布带。

新绝缘也可用玻璃丝带包扎。先在已抹净的待包处刷一层环氧树脂胶，用 20mm × 0.1mm 无碱玻璃丝带半叠包到原来厚度为止。边包边涂环氧树脂胶，斜坡部分要搭接好，包完后在 90℃ 下烘烤 4h。

线圈包好绝缘后需按标准进行耐压试验。只处理上层边的线圈，可在直线部分包锡箔纸，导线与铁心同时接地，用反加压法（即高压加于锡箔纸上）进行耐压试验，耐压标准见表 5-1，耐压合格后，表面刷 R11 号沥青气干漆。

表 5-1　局部更换线圈时的交流耐压标准（kV）

试验阶段	试验电压
除去故障线圈后的其余线圈	$0.75\ (2U_N+1.0)$
备用线圈放入槽内前	$2.25U_N+2.0$
备用线圈放入槽内后与旧线圈连接前	$2U_N+1.0$
全部连接好以后	$1.5U_N$

注：U_N 为电动机额定电压。

3）清扫定子槽和处理其余线圈的表面绝缘，然后按标准进行耐压试验。

4）将修复的线圈（或备用线圈）嵌入槽内，并对它进行耐压试验。

5）嵌入所有抬出槽外的线圈边，打入槽楔，焊好连接线，对全部绕组进行耐压试验，并用电桥测量绕组的直流电阻，三相电阻互差不应超过 2% 。

6）包好端头及连接线绝缘，配置端部垫块，扎好绑绳，端部涂漆或喷漆。

第三节　绕组短路故障的检修

一、绕组短路的原因

绕组短路分为相间短路和匝间短路两种。其中相间短路又包括相邻线圈短路及极相组连线间短路。绕组短路严重时，负载情况下电动机根本不能平衡，导致电磁转矩不平衡，使电动机产生振动，发出“嗡嗡”响声。并且，短路匝中流过很大的电流，使绕组迅速发热、冒烟，发出焦臭味，甚至烧坏。

1. 相间短路

相间短路多发生在低压电动机及铁心为未开口槽的高压电动机中，故障部位主要在绕组端部、极相组连线之间或引出线处。造成相间短路的原因是：

1）绕组端部的相间绝缘低或槽内层间绝缘放置不当或尺寸偏小，形成极相组间绝缘的薄弱环节，被电场强行击穿而短路。

2）线鼻子焊接处绝缘包扎不好，裸露部分积灰受潮引起表面爬电而造成短路。

3）低压电动机极相组连线的绝缘套管损坏，高压电动机烘卷式绝缘的端部蜡带脆裂积灰，从而引起相间绝缘击穿。

2．匝间短路

匝间短路的主要原因有：

1）漆包线的漆膜过薄或存在弱点；

2）嵌线时损伤了匝间绝缘，或抽、安电动机转子时碰破了线圈端部的漆膜；

3）长期高温运行使匝间绝缘老化变质。

二、短路故障的检查

1．万用表或绝缘电阻表法　将三相绕组的头尾全部拆开，用万用表或绝缘电阻表测量绕组相间电阻，其阻值为零或很小时即为短路相。

2．电阻法

用电桥（或万用表电阻挡）测量三相绕组的直流电阻，阻值过小的一相绕组可能存在短路。

3．电流与电压降法

先用电流平衡法找准故障相，其接法如图 5-10 所示，电源变压器 T 可用 36V 行灯变压器或交流电焊机。每相串联一只电流表，通电后记下电流表的读数，电流过大的一相即存在短路。

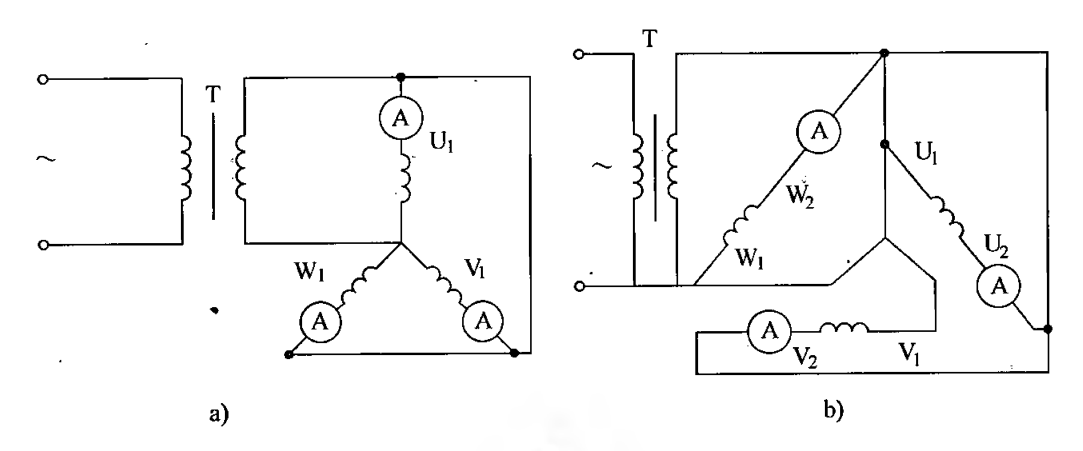


图 5-10　电流平衡法查找短路相
a）星形联结　b）三角形联结

然后将故障相的极相组间连线剥开，并加上 50～100V 交流电压，用万用表测量每个极相组的电压降（见图 5-11a），电压降过小的一组即有匝间短路。再将该组（例如图 5-11b 中 S_1 组）的线圈间连线剥开，用同样方法测量各线圈电压降，便可找到短路点。严重时，短路匝有明显的变色（发黑）现象。

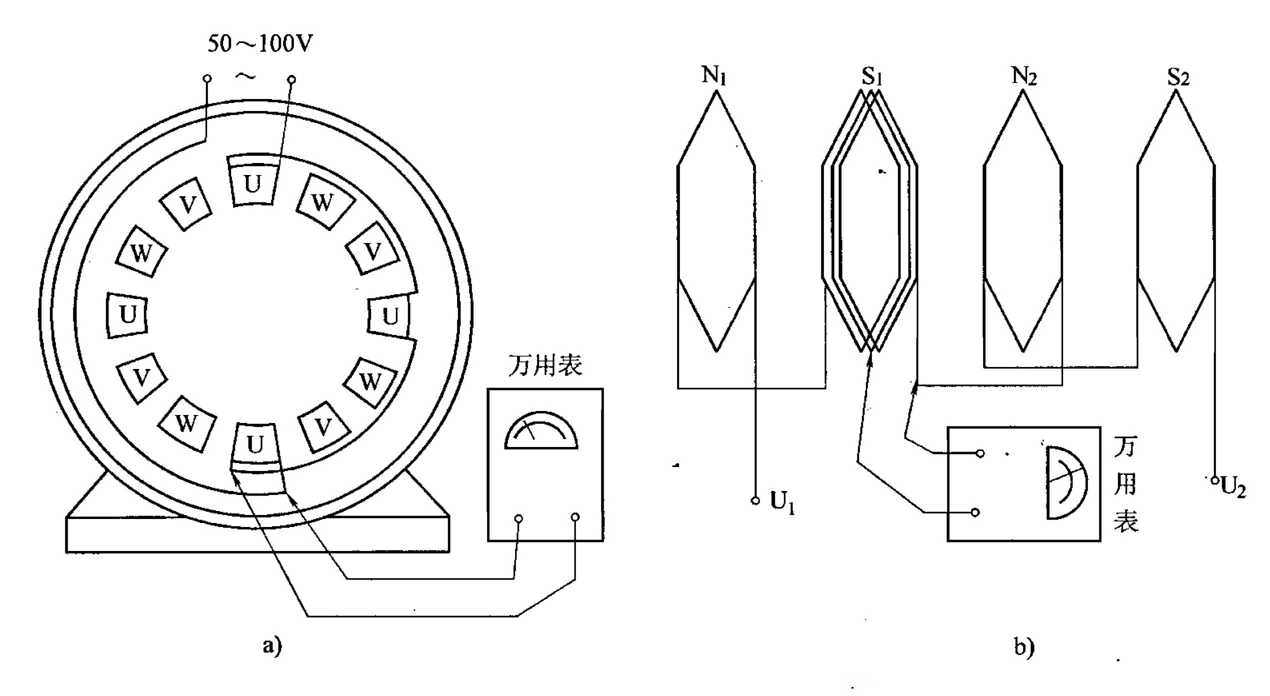


图 5-11　电压降检查法

a）检查短路极相组　b）检查短路线圈

4．感应电压法

将 12～36V 单相交流电通入 U 相，测量 V、W 相的感应电流；然后通入 V 相，测量 W、U 相的感应电压；再通入 W 相，测量 U、V 相的感应电压。记下测量的数值进行比较，感应电压偏小的一相即有短路。

例如：一台 7.5kW 2 极电动机的实测数据见表 5-2，其中 U 相感应电压最小，说明有匝间短路。

表 5-2　7.5kW 电动机感应电压实测数据

通电相别	电源电压/V	感应电压/V		
		U 相	V 相	W 相
U	24	—	10	10
V	24	7	—	9
W	24	7	9	—

5．短路侦察器法

短路侦察器由 H 形铁心及励磁线圈构成，其测量原理如图 5-12 所示。将铁心跨放在槽口上，励磁线圈通入交流电，产生磁通 Φ_1 与被测线圈相交链，若线圈有匝间短路，则相当于变压器的二次绕组短路，电流表便有较大指示值，短路电流产生的磁通 Φ_2 使薄铁片产生振动，严重时还发生吱吱声。顺次逐槽移动侦察器，便可找到短路槽，对三角形联结或多支路绕组，使用该接法时，均须把并联点拆开，以切断其回路。

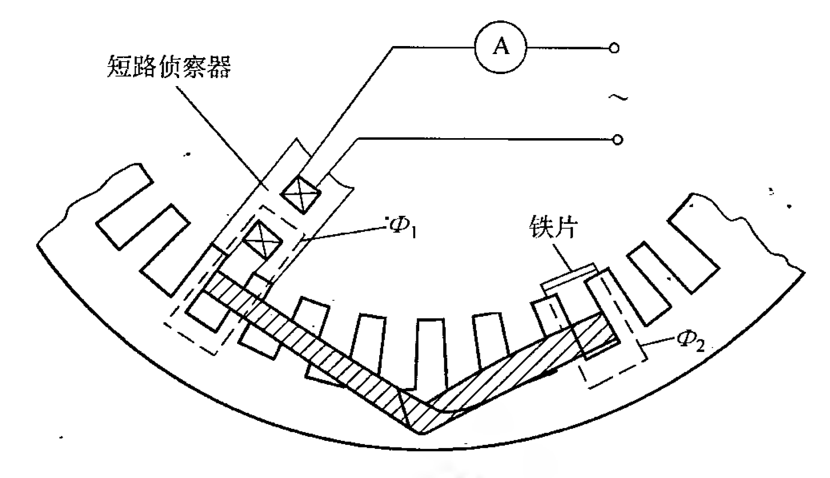


图 5-12 用短路侦察器检查匝间

短路侦察器的铁心弧面与定子内腔相吻合，其技术数据见表 5-3。

表 5-3 短路侦察器技术数据

组合	电源侧				感应侧			
	铁心截面积 /cm²	线径 /mm	匝数	电源电压 /V	铁心截面积 /cm²	线径 /mm	匝数	电压表量程 /V
1	6	0.47	270	36	6	0.23	2700	0～50
2	8	0.47	2068	220	0.5mm 铁片			

三、短路故障的修理

1. 局部修理

当短路点在槽外且不严重时，可将线圈撬开，在损坏处刷绝缘漆、包绝缘带或垫绝缘物。如短路点在槽内或烧损严重，单独处理损坏匝有困难时，可采用面层嵌线法或废弃法更换整个线圈，其工艺与修理接地故障相同。

2. 穿绕法

绕组仅损坏个别线圈且单根导线较粗时，用穿绕法较为省工省料，还可避免损坏其他好线圈。穿绕修理时，先将绕组加热使绝缘软化，然后将坏线圈的槽楔打击，剪断坏线圈两端，将坏线圈的导线一根一根抽出，接着清理线槽，用一层聚酯薄膜复合青壳纸卷成圆筒，插入槽内形成一个绝缘套。穿线前，在绝缘套内插入钢丝或竹签（打蜡）作为假导线。假导线的线径比导线略粗，根数等于线圈匝数。导线按坏线圈总长（加适当余量）剪断，从中点开始穿线，如图 5-13 所示。导线的一端（左端）从下层边穿起，按上下 1、上 2、下 3、

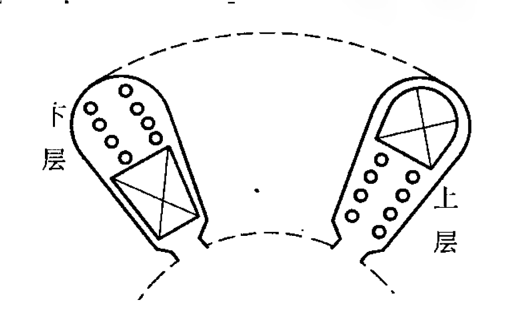


图 5-13 穿绕法修理线圈

上 4 的次序穿绕，右一端（右端）从上层边穿起，按上 5、下 6、上 7、下 8 的顺序穿绕。穿绕时，抽出一根假导线，随即穿入一根新导线，以免导线或假导线在槽内发生移动。穿绕完毕，整理好端部，然后进行接线。

3．高压绕组匝间短路的修理

1）当短路点在上层边时，可抬出槽处进行修理，如故障在下层边，则需抬出一个节距内所有上层边，取下故障线圈修理。

2）按照“接地故障的修理”方法，将故障线圈取下后，先剥去对地绝缘，然后割去导线烧损部分，修光割口并锉成斜坡。斜坡长度 L 等于铜线厚度 b 的两倍，即 $L=2b$，各线匝的接头应互相错开，如图 5-14 所示。

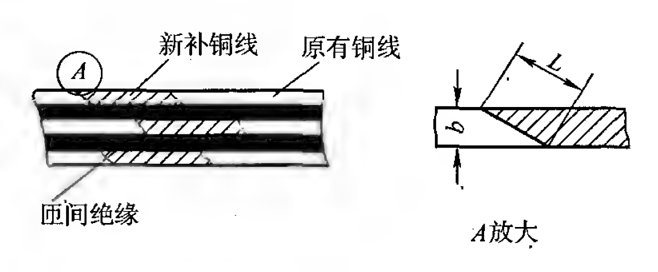


图 5-14　线匝断股修理

3）补接新导线。将新铜线对接处锉好，夹银焊片对接口中间，涂上硼砂焊剂，两端用炭精电极夹紧。合上电源开关，调整好电流，经 5～10s，银焊片熔化，待焊液“打滚”后，断开电源，焊接处呈白色时便可松开电极，修锉焊处，使其表面平整，尺寸与原导线相同。

4）按原来厚度包好匝间绝缘，可用 20mm×0.17mm 厚玻璃漆布包扎，也可以塞垫稍宽于导线的绝缘垫条，再用玻璃丝带扎紧，并刷漆烘干。

5）参照“接地故障的修理”工艺包好主绝缘，做耐压试验及进行嵌线等工作。

第四节　绕组断路故障的检修

一、绕组断路的原因

绕组一相断路后，对星形联结的电动机，通电后不能自行起动，断路相电流为零，对三角形联结的电动机，虽能自行起动，但三相电流极不平衡，其中一相电流比另外两相大约大 70%，且转速低于额定值。采用多根并绕或多支路并联绕组的电动机，其中一根导线断线或一条支路断路并不造成一相断路，这时用电桥可测得断股（或断支路）相的电阻较另外两相大。造成绕组断路的主要原因有以下几点：

1）电磁线质量低劣，导线截面积有局部缩小处，原设计或修理时导线截面积选择偏小，以及嵌线时刮削或弯折致伤导线，运行中通过电流时局部发热产生高温而烧断。

2）接头脱焊、多根并绕或多支路并联绕组断股未及时发现，经一段时间运行后发展为一相断路。

3）绕组内部短路或接地故障烧断导线。

二、断路故障的检查

1）万用表或校验灯法：将三相绕组的头尾全部拆开，用万用表（或绝缘电阻表）测量或用校验灯检查各相绕组，指针不动或灯不亮便是断路相。

2）电阻法：用电桥测量各相直流电阻，阻值偏大的那一相可能有断股或支路断路，再分组寻找，可查出故障线圈。

3）电流平衡：接线与图 5-10 相同。电流偏小的一相有断线。

4）通断试探法：确定断路相后（例如 U 相），还需找出断路点。将电动机极相组连线剥开，用万用表的一根试棒接 U 相首端，另一根依次与每个极相组末端相接，如图 5-15 所示。

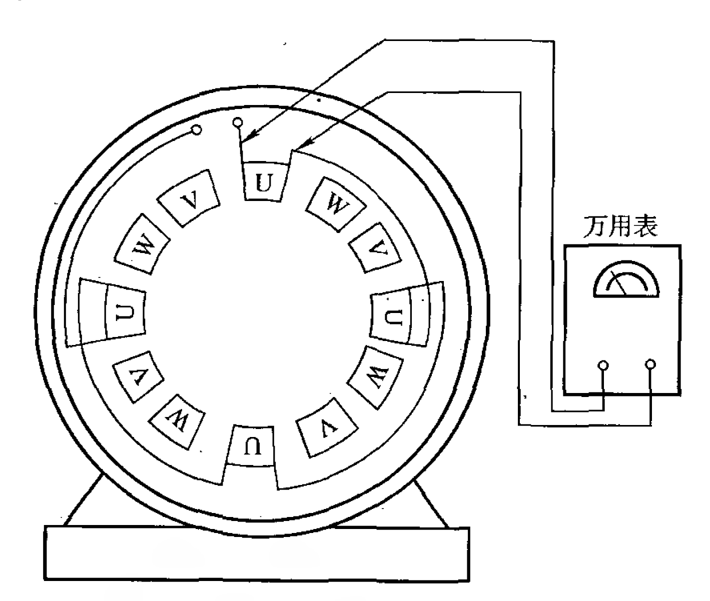


图 5-15　检查断路极相组

假如与第一个极相组末端相接时，万用表指针摆动，而与第二个极相组末端相接时指针不动，则说明第二极相组有断路。逐个进行测试，直至找出所有断路的极相组。

找出断路极相组后，再把它的线圈间连线剥开，然后分别测每个线圈，如图 5-16 所示。如果绕组为多支路并联，还要找出断路点在哪一条支路。

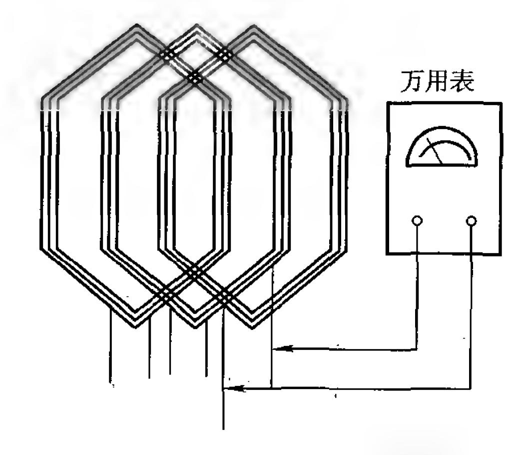


图 5-16　探测断路线圈

三、断路故障的修理

1）局部补修：断路点在端部接头等处，可将其重新接好焊牢，包好绝缘并刷漆即可，如果导线不够长，可加一小段同线径导线绞接再焊。

2）穿绕法、面层嵌线法或废弃法，其工艺与前述相同。

第五节　绕组接线错误的检查

一、接线错误的主要类型

1. 极相组或个别线圈接错

这是更换绕组时接线疏忽造成的。少数线圈接反或虽然接线正确，但线圈嵌

线时下反了，都会引起三相电流不对称，少极数电动机的极相组接错，则电动机无法起动。极相组接错，在分数槽电动机中最易发生。在绕制线圈时，将首末端套上不同颜色的套管，可避免接错或一旦接错亦易于查找。

2. 引出线首末端接反

在换接电源线时，由于工作不慎，线头标记错读或不清，使其中一相首末端接反，引出线首末端接反的电动机将不能顺利起动，运行时声响较大且达不到额定转速，三相电流不平衡。

3. 三角形联结电动机错接成星形

原来三角形联结的电动机误接成星形，当接通额定电压后，每相电压将降至$1/\sqrt{3}$倍。如果电动机带着轻负载运行（带额定负载的 40% 以下），对电动机不仅无损坏，而且电动机的功率因数和频率还能提高，这种运行是允许的。但是，大多数电动机往往带额定负载运行。这种情况会因电动机的转矩下降引起起动困难，运行转速降低，电流过大，电动机过热等不良后果。

4. 星形联结电动机错接成角形

这种错误接线，使电动机的绕组相电压增至$\sqrt{3}$倍。电动机的绝缘不仅要承受较高的电压，而且，电动机因磁通也要增加，导致铁心磁饱和，空载电流过大。过大的空载电流及过多的磁通使电动机很快过热，有烧坏的可能，这种错误接法是绝对不允许的。

二、接线错误的检查

发现绕组有接线错误的故障时，首先检查三相绕组首末端及其连接是否正确，其次再检查极相组及其连接。

1. 绕组首末端的检查判别

判别绕组首末端的方法有电磁感应法和盘动转子法。电磁感应法又可分为直流感应法和交流感应法。

（1）直流感应法　首先用万用表找出每相绕组的两个线头，然后按图 5-17a 接线。电源一般使用 1.5V 干电池，仪表可用万用表毫安挡。

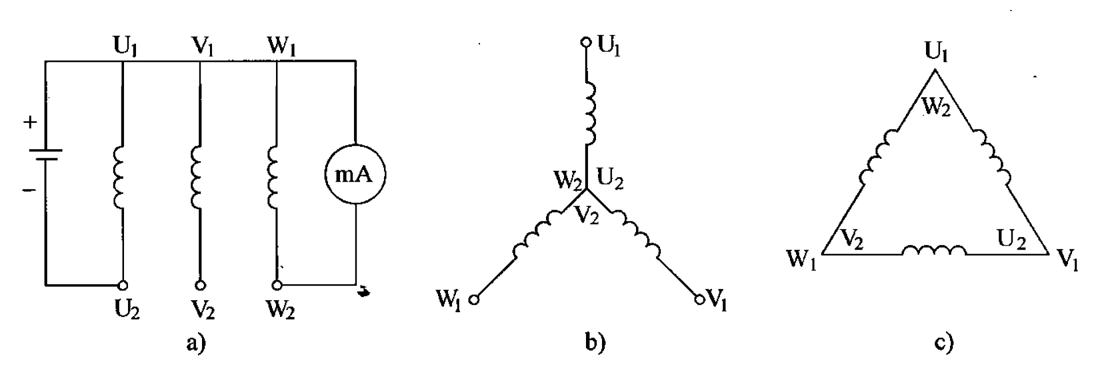


图 5-17　三相绕组极性检查及其接线方法

a）极性检查　b）星形联结　c）三角形联结

先将万用表的一端接 W_2，用电池负极碰触 U_2 和 V_2，如指针同向偏转，则知 U_2 和 V_2 同极性。再将万用表接 V_2，用电池负极分别碰触 U_2 和 W_2，看指针偏转方向是相同还是相反。若相同，便可确定 U_2、V_2、W_2 或 U_1、V_1、W_1 为同极性，即分别为各相的末端或首端，否则相反。各相首末端确定后，便可以按要求接成星形（见图 5-17b）或三角形（见图 5-17c）。

（2）交流感应法　当绕组有 6 个出线端时，先将绕组的任意两相串联起来，接交流电压表（万用表交流电压挡）或白炽灯泡，再将第三相接 36V 交流电压（小电动机可直接接交流 220V 电源）。如电压表有指示数值或灯亮，说明两相绕组感应电动势方向相同，即第一相的末端与第二相的首端相连接（见图 5-18a），如果电压表无指示（或指示数值很小）或灯不亮，说明两绕组感应电动势方向相反，相抵消。即两相末端或首端连在一起（见图 5-18b），然后将第一相及第二相的首末端做好标记，用同样方法确定第三相的首末端。

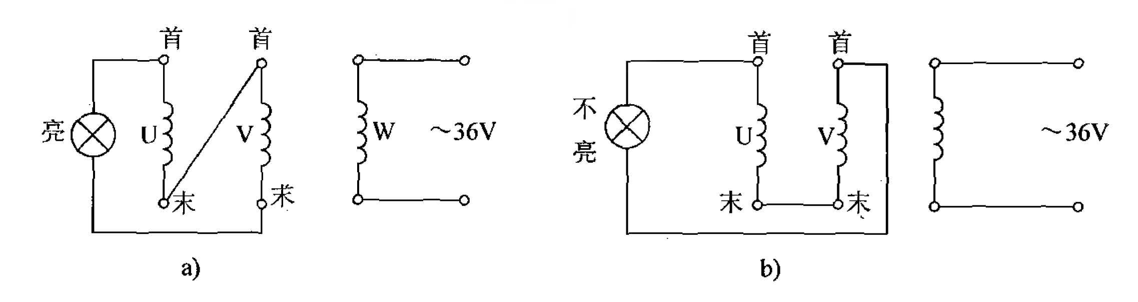


图 5-18　交流感应法检查绕组极性

a）顺向串联　b）反向串联

（3）盘动转子法　先将三相绕组的两端点分别连在一起，并接上万用表毫安挡，如图 5-19 所示。盘动转子，如万用表指针不动，说明三相绕组的首末端是对的（接在一起的为同极性）；如万用表的指针摆动，则说明三相绕组中有一

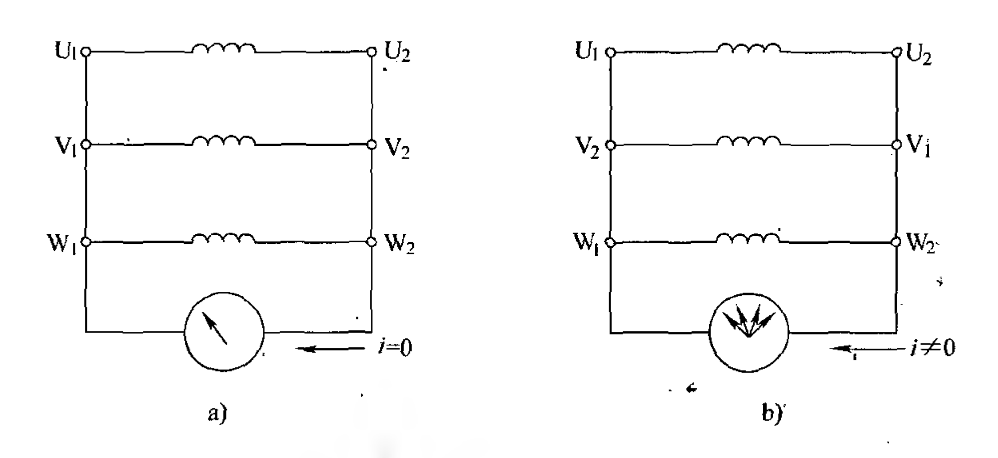


图 5-19　盘动转子法检查绕组的首末端

a）指针不动，接线正确　b）指针摆动，接线错误

相头尾接反，重新接线，再测，直至万用表指针不动为止。

2. 极相组或线圈接反的检查

将低压直流电源（如蓄电池）接于某相绕组两端，用磁针沿定子内圆逐槽移动。如接线正确，磁针在经过该相绕组的每一个极相组时，将会反指一次，即在一个极相组处指 N，在下一极相组处指 S，如此重复，如图 5-20 所示。若磁针在某个极相组上指向不定，便说明该极相组内有线圈接反，依次对另外两相通电测试，便可找出接错的线圈或极相组。

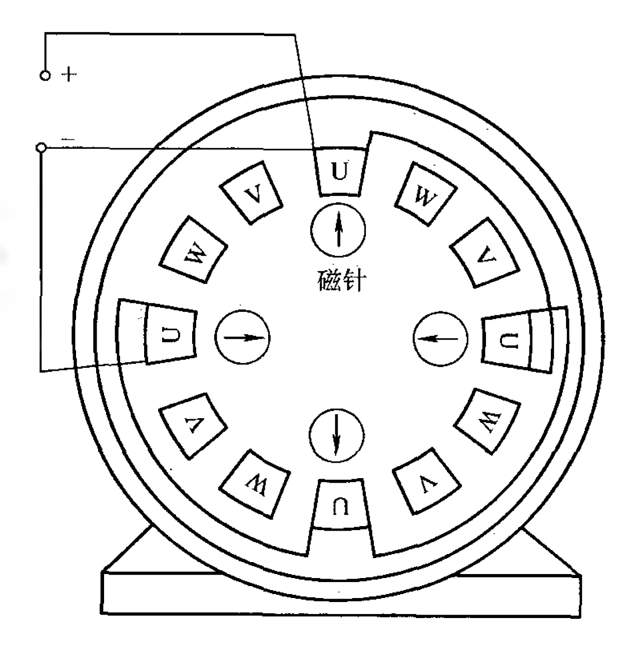


图 5-20　用磁针检查极相组极性

第六节　绕组导线截面积及匝数错误纠正

一、绕组导线截面积及匝数错误的原因及后果

每台异步电动机的定子绕组，其导线的截面积（或线径）以及每个线圈的匝数多少都是经过严格设计和计算确定的。修理时，不能擅自改变或有过大的误差。

但是，在更换新绕组时，往往由于疏忽或某些原因（比如原来电动机的槽满率较高，嵌放困难，身边没有合适的导线等），擅自将线径（截面积）或匝数加以改变，以求嵌放容易。这是导致导线截面积及匝数错误的主要原因。

经常出现这种错误的主要类型有：

1） 导线截面积没变，而匝数减少，槽满率降低，容易嵌放。

2） 导线截面积减小，匝数不变，容易嵌放。

3） 导线截面积增加，匝数减少。

4） 导线截面积减小，匝数增多。

5） 导线截面积不但减小，匝数也减少。

定子绕组导线截面积（线径）的大小主要是根据电动机的额定电流大小（在电压不变的情况下，根据其额定功率）来确定的，电流大，导线截面积大，电流小，导线截面积小。为保证额定电流不变（或额定功率），导线截面积必须保证足够大。若将导线线径擅自减少，必然使电动机的额定功率及电流减少，否则，电动机会过热甚至烧坏。

一般情况下，在保证匝数不变的同时，使用的导线截面积不能加大，这样，

会增加槽满率，嵌放困难。特殊情况下（如：原来电动机的槽满率很低），可适当增加导线截面积，对电动机输出功率有好处。

定子绕组的每相串联匝数（及分配到每个线圈匝数）严格地说是不能改变的。如果匝数减少，将会使电动机的磁通增加，铁心饱和，铁损增加，且电动机空载电流增大很多。严重时，电动机空载时电流就达到或超过额定值，根本不能带负载工作，即使导线截面积适当增大，也不能弥补上述的缺陷后果。

在导线截面积不变的情况下，线圈的匝数增加，会导致槽满率过高，嵌放困难或不能嵌放，导线截面积减少，匝数增加，会导致电动机的输出功率降低，这样做不能保证电动机的修复质量。

对绕线式转子绕组，导线截面积的减少，会使转子过热，匝数的减少会使电动机的转矩下降，起动困难，带负载的能力下降，这也是不允许的。

二、导线截面积和匝数错误的纠正和避免

对已经嵌放完的电动机发现了导线截面积或匝数有错误，不妨将电动机在空载下进行测试，若电动机空载运行可以，且空载电流不过大，这种情况下，只能是降低功率使用。修复的电动机必须向用户说明。若空载运行时，空载电流过大，甚至达到或超过额定电流，电动机只能重修，不能出厂。

对于上述的绕组错误，不能修复。所以一定在更换绕组时避免。避免的办法就是严格选择导线截面积，严格按规定的线圈匝数绕制，不能随意改变或马虎从事。这是修理人员必须遵守的原则。

但是，特殊的情况还需特别处理。今举一例，供读者参考。有时，修理的电动机比较陈旧，特别是铁心锈斑较多，定转子之间的空隙较大等。原来使用时空载电流就较大，现在重换绕组时，如果槽满率允许的话，可适当增加匝数（增加的匝数不能过多）；若槽满率较高，还可以选较细一点的导线，适量增加匝数。这样，重绕后的电动机空载电流会下降，但本电动机的额定功率也要下降，这一点必须预先料到。

第六章　异步电动机定子绕组的简易计算及嵌绕工艺

在修理和改造异步电动机的时候，经常遇到电动机的升压或降压改造；当电动机不适应机械的要求，而要改变电动机的极数；或者买不到设计要求的电磁线而用其他线径的导线来代替；对一些无铭牌、无绕组数据的空壳电动机重新放置绕组等等。每当这时，均需要必要的计算。本章搜集整理了一些经验公式，简易计算方法，介绍给读者。计算的结果可能存在一些误差，在实际中可用几种方法进行比较，以便得到较准确的结果。

此外，本章还对异步电动机常见绕组的绕制、嵌放和浸漆的工艺要求和工艺方法以及对绕组的检查试验等，做一些简要介绍，供读者参考。

第一节　三相异步电动机的改压计算

近年来，为提高供电质量，减少能耗，节约金属材料，很多工厂进行升压改造，即将 380V 供电系统改为 660V 供电系统。为充分利用已有的 380V 电动机，将其改为 660V 使用，这是一项降低能耗的重要技术措施。另外，电动机只有在额定电压下工作，但有时将其他额定电压的电动机用在另一个额定电压下运行。所有这些，均需要将电动机进行改压的技术改造。

改压改造有两种方法：一种是通过改接定子绕组中极相组或线圈之间的连接线，而不需要拆除绕组；另一种是拆掉原来绕组重绕。当然，对笼型或绕线型三相异步电动机，改压时只需要改接定子绕组，不必改变转子绕组，但是改压时，必须要考虑电动机中绝缘材料的耐压。

一、改接极相组或线圈之间的连接线（不拆换绕组）

通过改接连接线而改变电压必须遵循一个原则：使电动机绕组中每一个线圈或极相组上所承受的电压不能改变，这样改压后的电动机电磁性能就保持不变。

【例 6-1】　一台 4 极三相异步电动机原来△联结 380V，现将其改为Y联结，如图 6-1 所示。

改接前，每相电压为 380V，每极相组承受 95V 电压，改接后，若保持每极相组还承受 95V，一相电压仍为 380V，则Y联结时，电源电压应为 $380V\times\sqrt{3}=660V$。即改接后，该电动机在 660V 电源下，仍然正常工作，电磁性能不变。

根据以上例证，改压的具体方法如下：

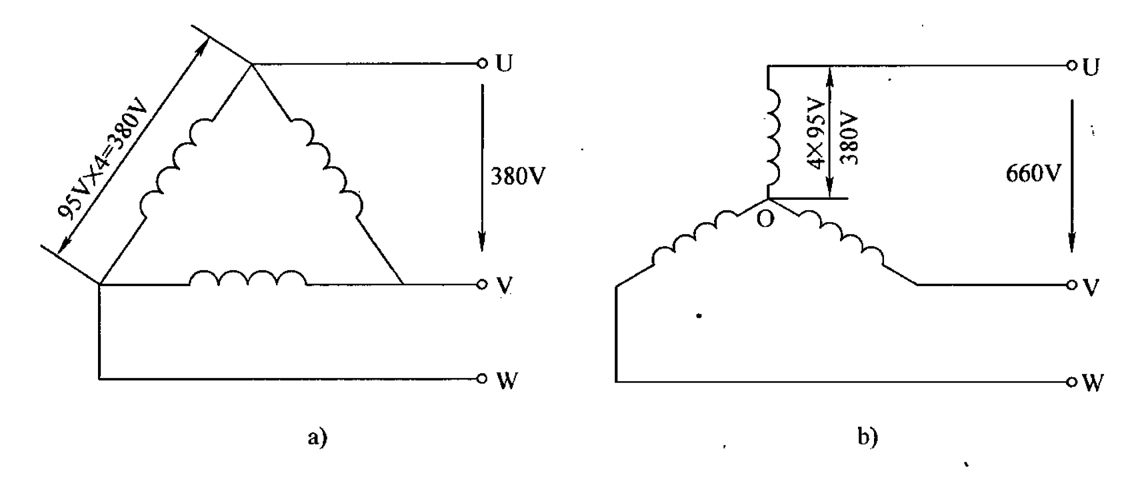


图 6-1 改压前后每个极相组承受的电压不变

1）计算改压前后的线电压比值的百分数 $u\%$。

$$u\% = \frac{U'_e}{U_e} \times 100\% \tag{6-1}$$

式中，U'_e为改压后电动机的额定电压（线电压）（V）；U_e 为改压前电动机的额定电压（线电压）（V）。

根据上式计算出的 $u\%$，查表 6-1 就可以得到改压后的接线法。

表 6-1 三相绕组改变接线后的电压比值（设电压 $U_e=100V$）

绕组原联结方式	绕组改压后联结方式															
	1路Y联结	2路并联Y联结	3路并联Y联结	4路并联Y联结	5路并联Y联结	6路并联Y联结	8路并联Y联结	10路并联Y联结	1路△联结	2路并联△联结	3路并联△联结	4路并联△联结	5路并联△联结	6路并联△联结	8路并联△联结	10路并联△联结
1路Y联结	100	50	33	25	20	17	12.5	10	58	29	19	15	12	10	7	6
2路并联Y联结	200	100	67	50	40	33	25	20	116	58	39	29	23	19	15	11
3路并联Y联结	300	150	100	75	60	50	38	30	173	87	58	43	35	29	22	17
4路并联Y联结	400	200	133	100	80	67	50	40	232	116	77	58	46	39	29	23
5路并联Y联结	500	250	167	125	100	83	63	50	289	144	96	72	58	48	36	29
6路并联Y联结	600	300	200	150	120	100	75	60	346	173	115	87	69	58	43	35
8路并联Y联结	800	400	267	200	160	133	100	80	460	232	152	120	95	79	58	46
10路并联Y联结	1000	500	333	250	200	167	125	100	580	290	190	150	120	100	72	58
1路△联结	173	86	58	43	35	29	22	17	100	50	33	25	20	17	12.5	10
2路并联△联结	346	173	115	87	69	58	43	35	200	100	67	50	40	33	25	20

（续）

绕组原联结方式	绕组改压后联结方式															
	1路Y联结	2路并联Y联结	3路并联Y联结	4路并联Y联结	5路并联Y联结	6路并联Y联结	8路并联Y联结	10路并联Y联结	1路△联结	2路并联△联结	3路并联△联结	4路并联△联结	5路并联△联结	6路并联△联结	8路并联△联结	10路并联△联结
3路并联△联结	519	259	173	130	104	87	65	52	300	150	100	75	60	50	33	30
4路并联△联结	692	346	231	173	138	115	86	69	400	200	133	100	80	60	50	40
5路并联△联结	865	433	288	216	173	144	118	86	500	250	167	125	100	80	63	50
6路并联△联结	1038	519	346	260	208	173	130	104	600	300	200	150	120	100	75	60
8路并联△联结	1384	688	464	344	280	232	173	138	800	400	267	200	160	133	100	80
10路并联△联结	1731	860	580	430	350	290	216	173	1000	500	333	250	200	167	125	100

以图6-1为例，$u\% = \frac{660}{380} \times 100\% = 173\%$，查表6-1，将原来一路△联结改为一路Y联结即可。

2）计算的比值$u\%$有时不一定和表6-1查到的数值相同，只能查到相近的数值。这时，只要两者的值相差不超过5%，即

$$\frac{u\%_{计算值} - u\%_{表中值}}{u\%_{表中值}} \times 100\% \leqslant \pm 5\% \tag{6-2}$$

若满足上式，仍可以采用表6-1中的改接法。

3）电动机绕组的并联支路数a与电动机的极数、槽数及原来绕组的形式有关，表6-1中查不到就不能改接。

4）因为电动机的绝缘是按改接前原额定电压设计的，所以将低压电动机改接成高压电动机时，应考虑到绝缘材料的耐压。而高压电动机改接成低压电动机时，则不用考虑这些。

5）除表6-1所列出的改接法外，还可改为延边三角形（△）或Z形等特殊联结。

【例6-2】 将一台125kW、3000V、8极三相异步电动机改在380V电源上使用，如何改接？

解：查出此台电动机原来为一路Y联结，双层绕组。

计算：$u\% = \frac{U'_e}{U_e} \times 100\% = \frac{380}{3000} \times 100\% = 12.65\%$

查表6-1，最接近的接法为8路并联Y联结，$u_{表中值} = 12.5\%$，5路并联△联

结，$u_{表中值}=12\%$。对 8 极双层绕组的并联支路数只能有 2、4、8 三种。所以选择改为 8 路并联，Y联结。

核对：

$$\frac{u\%_{计算值}-u\%_{表中值}}{u\%_{表中值}}\times100\%=\frac{12.65-12.5}{12.5}\times100\%=1.2\%<5\%$$

可以确定改接为 8 路并联Y联结。因由高压改为低压使用，所以电动机的绝缘不用考虑。

【例 6-3】 将一台 380V，6 极 2 路、Y联结电动机改为 660V 电源上使用。

解：因为对 6 极Y联结电动机，每相有 6 个极相组，原来在 380V 电源下，每个极相组承受的电压为：$\frac{380}{\sqrt{3}}\Big/6=73.3\text{V}$。

可将每相的 2 个极相组接为△联结，每相的其余 4 个极相组分别串联接为Y联结，组成延边三角形，如图 6-2 所示。

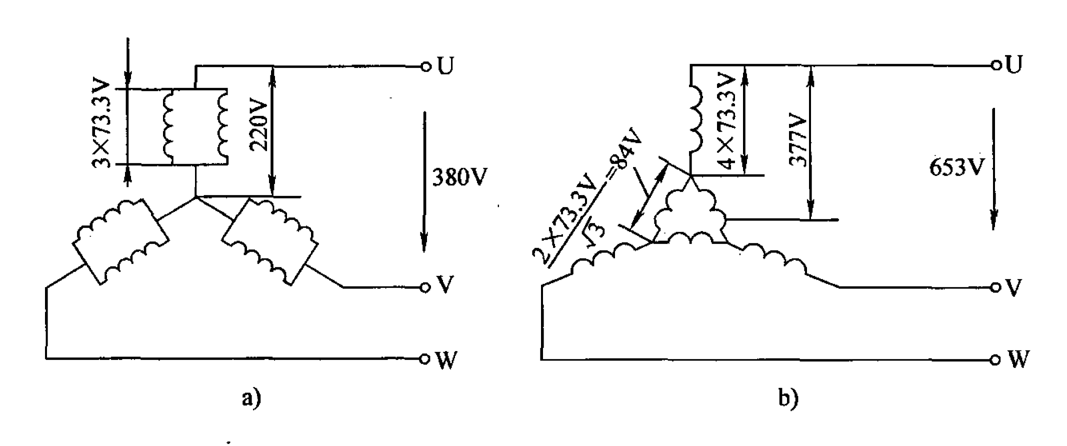


图 6-2 将 2 路Y联结改为延边三角形联结

这样，通过计算分析，每相电压为 377V，在 $377\text{V}\times\sqrt{3}=653\text{V}$ 电源上工作，若在 660V 电源上工作，稍有误差。

$\Delta u\%=\frac{660-653}{653}\times100\%=1\%<5\%$。可以确定将此改接为延边三角形联结，在 660V 电源上工作。

【例 6-4】 将一台 380V、4 极 2 路、Y联结电动机改为 660V 电源上使用，如何改接？

解：按【例 6-3】改接为延边三角形也可以，如图 6-3 所示，不再多述。

还可以改接为 Z 形联结。该接法打乱了原来极相组的连接顺序，使同一相的 4 个极相组中有两个极相组（如 U 的 U_1W_4 和 U_3W_2）的电压相差 120°，虽然每个极相组的电压仍为 110V，但相电压相量之和为 380V，线电压为 660V，如图 6-4 所示。

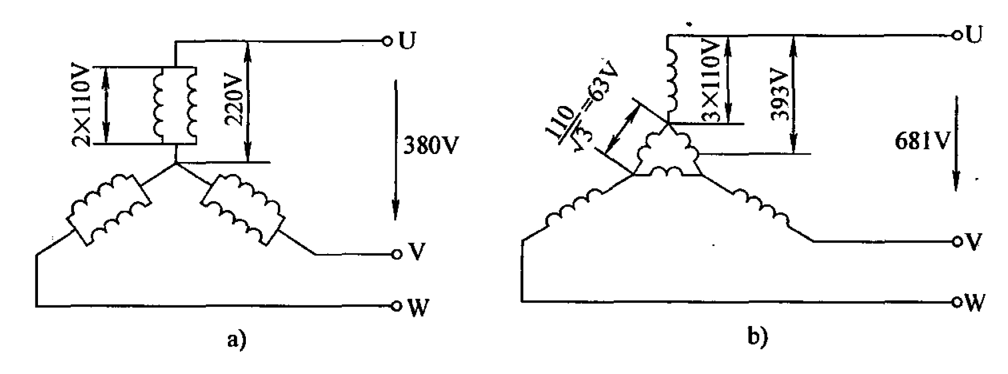


图 6-3　将 4 极 2 路Y联结改为延边三角形联结

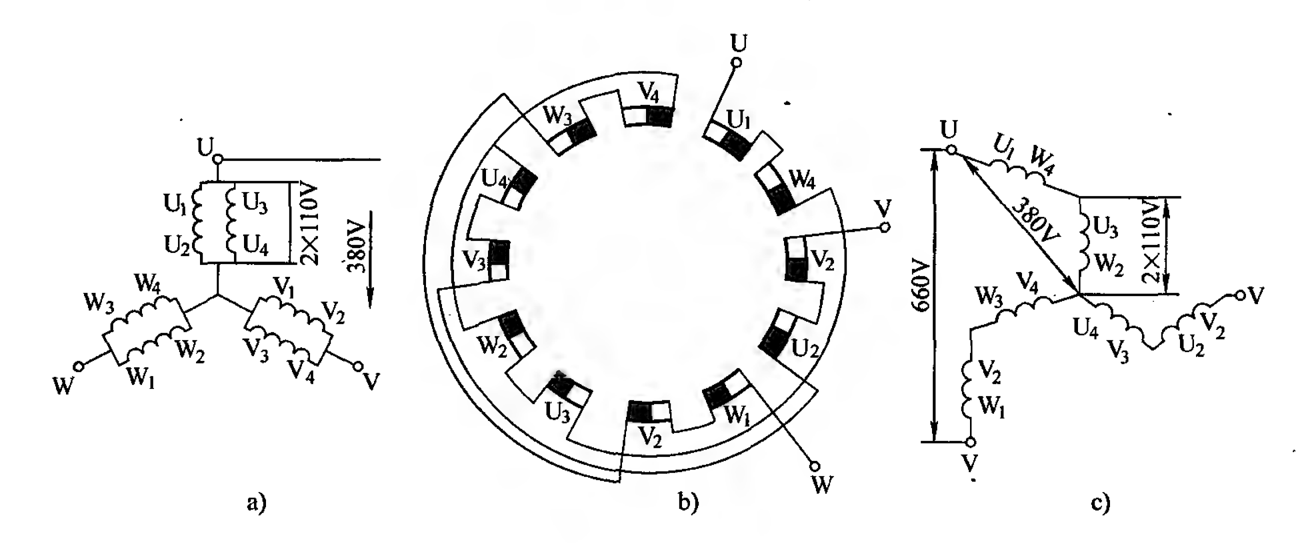


图 6-4　4 极 2 路Y联结改为 Z 形联结

改接成 Z 形联结后电动机的漏抗变化较大，其起动转矩为原来的 80% ~90%。

改接时，若有几根并绕时，可视为并联支路等于并绕根数的多路接法，采取同相拆股的方法进行改接。

对 380V 改为 660V 运行的电动机典型改接方法，可参考表 6-2。

表 6-2　电动机典型改接方法汇总表

极数	380V 绕组数据		660V 绕组联结方式（改接方法）	改后电压/V	电压偏差（%）
	联结方式	并绕根数			
2	Y	2	$Y_3-\Delta_1$	681	-3
	Y	2	Z	660	0
	Y	4	$Y_6-\Delta_2$	681	-3
	Y	4	2Z	660	0
	Y	3	Δ_3	660	0
	2Y	1	$Y_1\frac{1}{3}-\Delta\frac{2}{3}$	654	+1
	2Y	1	Z	660	0

（续）

极数	380V 绕组数据		660V 绕组联结方式（改接方法）	改后电压/V	电压偏差（%）
	联结方式	并绕根数			
4	2Y	1	$Y_3-\Delta_1$	681	-3
	2Y	1	Z	660	0
	Y	2	$Y_5-\Delta_3$	640	+3
	Y	2	Z	660	0
6	Y	2	$Y_8-\Delta_4$	653	+1
	Y	2	Z	660	0
	2Y	1	$Y_4-\Delta_2$	653	+1
	3Y	1	Δ_3	660	0
	6Y	1	$2\Delta_3$	660	0
8	2Y	1	$Y_5-\Delta_3$	640	+3
	2Y	1	Z	660	0
	4Y	1	2Z	660	0
	Y	2	$Y_{10}-\Delta_6$	640	+3

二、拆换绕组改压

如果用改接的方法行不通或绝缘材料的耐压要加强，就要拆换绕组。改换的绕组若和原绕组的嵌放形式都相同，则要保持铁心磁通不变，新绕组每个线圈的匝数为

$$N'_n = N_n \frac{U'_{相} a'}{U_{相} a} \tag{6-3}$$

式中，N_n 为原绕组每个线圈的匝数；N'为新绕组每个线圈的匝数；$U_{相}$ 为原绕组的额定相电压（V）；$U'_{相}$为新绕组额定相电压（V）；a 为原绕组的并联支路数；a'为新绕组的并联支路数。

还要保持导体电流密度不变，新绕组的导体截面积 S'为

$$S' = S \frac{U_{相}\, an}{U'_{相} a'n'} \tag{6-4}$$

式中，S 为原绕组导线截面积（mm^2）；S'为新绕组导线截面积（mm^2）；n 为原绕组导线并绕根数；n'为新绕组导线并绕根数。

计算时，先假定新绕组的并绕根数 $n'=1$，计算出 S'。如果计算出的导体直径大于 1.6mm，则再选多根并绕。

还要注意：

1）当高压改为低压时，槽内绝缘变薄，实际导体截面积可比计算面积选择

的大些，这样可提高效率。

2）当低压改为高压时，由于槽内绝缘变厚，实际导线面积比计算值选择的要小，以免槽满率过高，嵌放困难。

【例 6-5】 试将 JO_222-4 型 1.5kW、380V 电动机改为 660V 使用。

解：查本台电动机原绕组，为一路Y联结单股线圈，单层链式绕组，每圈匝数：$N_n=62$ 匝，线径 $d=0.83\text{mm}$，因原绕组无法改接，需拆除重绕。

新绕组计算如下：

$$N'_n=N_n\frac{U'_{相}a'}{U_{相}\ a}=620\times\frac{380\times1}{220\times1}匝=107\ 匝$$

$$S=\frac{1}{4}\pi d^2=\frac{1}{4}\times3.14\times0.83^2\text{mm}^2=0.54\text{mm}^2$$

$$S'=S\frac{U_{相}\ an}{U'_{相}an}=0.54\times\frac{1}{\sqrt{3}}\text{mm}^2=0.312\text{mm}^2$$

查选标准线径 $d=0.64\text{mm}$。

确定用 $\phi0.64$ 高强度漆包线，每圈绕 107 匝，按单层链式绕组嵌放，且仍为Y联结，进行重绕即可。

【例 6-6】 将一台 20kW 旧式三相电动机由原来的Y联结 380V，改为△联结 380V 使用，目的是容易用Y－△起动。

解：该电动机原来相电压为$\frac{380\text{V}}{\sqrt{3}}=220\text{V}$，而改后相电压 $U_{相}=380\text{V}$，所以实质仍为改压改造。

原定子绕组为双层叠绕组，用 $\phi0.56$ 的纱包线 5 根并绕，一路Y联结。若采用改接方法，经查表分析不行，只好拆除重绕。原绕组每圈匝数 $N_n=7$（5 根导线为一匝计）。

新绕组计算如下：

$$N'_n=N_n\frac{U'_{相}a'}{U_{相}\ a}=7\times\frac{380\times1}{220\times1}匝=12.12\ 匝$$

取：$N'=12$ 匝

因原绕组：$S=\frac{1}{4}\pi d^2=\frac{1}{4}\times3.14\times1.56^2\text{mm}^2=1.91\text{mm}^2$

该新绕组：$n'=1$，新绕组导线截面积：

$$S'=S\frac{U_{相}\ an}{U_{相}\ a'n'}=1.91\times\frac{220\times1\times5}{380\times1\times1}\text{mm}^2=5.52\text{mm}^2$$

可选 QZ-2 高强度漆包线 $\phi1.35$、4 根并绕（截面积为 5.724mm^2）。

因原绕组为纱包线，现改用漆包线，若槽满率还很低，还可选 $\phi1.4$，甚至

$\phi 1.45$ 的漆包线 4 根并绕。如果能嵌放，对电动机的效率及功率都可适当提高。

经实际操作证实，最终确定：选 4-$\phi 1.45$ 的漆包线，每匝匝数为 12 匝，双层叠绕组，一路△联结的新绕组。

第二节　三相异步电动机的改极计算

三相异步电动机的转速主要由极数决定，一般来说，三相异步电动机的转速

$$n \approx 0.95\frac{60f}{p}$$

式中，f 为电源的频率，在我国 $f=50\text{Hz}$；p 为极对数。

有时电动机与生产机械的转速不相配合，而手头又缺乏合适的电动机，这时就可改变原有电动机的极对数，以得到合适的转速。另外，一些如水泵、风机等负载需要随着生产或季节的变化调节流量，但并不需要频繁、连续地调节。若将水泵、风机使用的单速电动机改为双速电动机，则既便于调节流量，又可大幅度节能。所有这些均需要改极改造。

改极的方法是改变定子绕组，使新绕组通入交流电流后形成新的极数。在此要说明一点，改极的电动机一般都是笼型转子电动机。主要因为笼型转子的极数随着定子绕组极数的改变而自动改变，且两者极数总是相同的，这样，只改变定子绕组即可。而绕线式异步电动机，其定子绕组和转子绕组必须同时改极，工作量大大增加。

本节重点将定子绕组单速改极的计算方法及单速电动机改成双速电动机的改极方法分别简要介绍。

一、单速变极计算方法

1）单速变极时首先要考虑下面问题，并进行计算：

① 定子和转子槽数的配合问题，以避免改后的电动机不能起动，噪声过大问题，振动问题。

定子槽数 Q_1 和转子槽数 Q_2 必须符合下列不等式：

$$Q_1 - Q_2 \neq 0$$

$$Q_1 - Q_2 \neq \pm 2p$$

$$Q_1 - Q_2 \neq 1 \pm 2p$$

$$Q_1 - Q_2 \neq \pm 2 \pm 4p$$

② 改极时不宜使改极前后的极数相差太多。例如不宜将 6 极电动机改为 2 极电动机，也不宜将 2 极电动机改为 6 极电动机。

③ 当极数减少时，转速将增加，这时要验算转子的机械强度，验算方法是

计算转子表面的圆周线速度 V_2。

$$V_2 = \frac{\pi D_2 n_e}{60 \times 100} \tag{6-5}$$

式中，D_2 为转子外径（cm）；n_e 为转子转速（r/min）。

笼型转子的异步电动机 $V_2 \leqslant 40 \sim 60$m/s。

④ 转速增加后，电动机的额定转矩要减小，所以还要校验电动机的转矩是否满足生产机械的要求。

$$T_e = 9500 \frac{P'_e}{n'} \tag{6-6}$$

式中，T_e 为转速增加后电动机的额定转矩（N·m）；P'_e为转速增加后电动机的额定功率（kW），P'_e可根据表 6-3 中经验公式进行计算；n'为转速增加后电动机的额定转速（r/min）。

⑤ 极数增加时（即转速减少），额定功率必然随之减少。根据表 6-1 中经验公式计算出来的额定功率 P'_e应该校验是否能满足生产机械的要求。

2）根据表 6-3 进行计算，确定绕组数据。

表 6-3　三相异步电动机改极计算经验公式

改极方案	每相串联匝数 N/匝	导线截面积 S/mm²	裸导线直径/mm	功率/kW
2 极改 4 极	$N_4 = (1.70 \sim 1.80)\frac{a_4 K_{w2}}{a_2 K_{w4}} N_2$	$S_4 = (0.55 \sim 0.60)\frac{a_2}{a_4} S_2$	$d_4 = (0.74 \sim 0.77)\sqrt{\frac{a_2}{a_4}} d_2$	$P_4 = (0.55 \sim 0.60) P_2$
4 极改 2 极	$N_2 = (0.80 \sim 0.90)\frac{a_2 K_{w4}}{a_4 K_{w2}} N_4$	$S_2 = (1.1 \sim 1.25)\frac{a_4}{a_2} S_4$	$d_2 = (1.05 \sim 1.12)\sqrt{\frac{a_4}{a_2}} d_4$	$P_2 = (1.15 \sim 1.20) P_4$
4 极改 6 极	$N_6 = (1.35 \sim 1.45)\frac{a_6 K_{w4}}{a_4 K_{w6}} N_4$	$S_6 = (0.69 \sim 0.74)\frac{a_4}{a_6} S_4$	$d_6 = (0.83 \sim 0.86)\sqrt{\frac{a_4}{a_6}} d_4$	$P_6 = (0.6 \sim 0.65) P_4$
6 极改 4 极	$N_4 = (0.85 \sim 0.90)\frac{a_4 K_{w6}}{a_6 K_{w4}} N_6$	$S_4 = (1.1 \sim 1.17)\frac{a_6}{a_4} S_6$	$d_4 = (1.05 \sim 1.08)\sqrt{\frac{a_6}{a_4}} d_6$	$P_4 = (1.15 \sim 1.25) P_6$
6 极改 8 极	$N_8 = (1.25 \sim 1.30)\frac{a_8 K_{w6}}{a_6 K_{w8}} N_6$	$S_8 = (0.75 \sim 0.79)\frac{a_6}{a_8} S_6$	$d_8 = (0.87 \sim 0.89)\sqrt{\frac{a_6}{a_8}} d_6$	$P_8 = (0.70 \sim 0.75) P_6$
8 极改 6 极	$N_6 = (0.85 \sim 0.95)\frac{a_6 K_{w8}}{a_8 K_{w6}} N_8$	$S_6 = (1.04 \sim 1.17)\frac{a_8}{a_6} S_8$	$d_6 = (1.02 \sim 1.08)\sqrt{\frac{a_8}{a_6}} d_8$	$P_6 = (1.15 \sim 1.20) P_8$

注：1. 表中下标 2、4、6、8 代表 2 极、4 极、6 极、8 极。
2. 每相串联匝数经验公式前系数的选择，对于铁心质量不好的取大值，反之取小值。
3. 导线截面积经验公式前系数，对于早年产品取大值。
4. 表中数据，适用于供电电压，频率及接法均不改变的情况。

【例 6-7】 将 JO_2-52-6 笼型电动机改为 4 极电动机，重配一个适当的定子绕组。

解： ① 首先查出 JO_2-52-6 电动机的主要数据：$P_{e6}=7.5\text{kW}$，$I_{e6}=15.53\text{A}$，△接，$U_e=380\text{V}$，$2p=6$。

其铁心及定子绕组数据为：$D_1=24.5\text{cm}$，$D_{i1}=17.4\text{cm}$，$L=17\text{cm}$，$Q_1/Q_2=36/33$。单层链式绕组，每圈匝数 $N_n=37$ 匝，并联支路数 $a=1$，导线是 1 根 $\phi1.4$ 漆包线。转子外径 $D_2=17.33\text{cm}$。

② 6 极时每相串联匝数 N_6 为：

$$N_6=\frac{Q_1N_n}{2ma_6}=\frac{36\times37}{2\times3\times1}\text{匝}=222\text{ 匝}$$

6 极时每极每相槽数 q_6 为

$$q_6=\frac{Q_1}{2mp}=\frac{36}{2\times3\times3}=2$$

因为是单层绕组，$K_W=K_d$，查表 3-2 得 6 极的绕组系数 K_{W6}为：

$$K_{W6}=0.966$$

③ 4 极时，每极每相槽数 q_4 为

$$q_4=\frac{Q_1}{2mp}=\frac{36}{2\times3\times2}=3$$

也嵌为单层绕组（单层交叉式），查表 3-2 得 $K_{W4}=0.96$

④ 根据表 6-3 经验公式计算：

每相串联匝数 N_4 为

$$N_4=(0.85\sim0.90)\frac{0.4K_{W6}}{0.6K_{W4}}N_6=0.9\times\frac{1\times0.966}{1\times0.96}\times222\text{ 匝}=201\text{ 匝}$$

4 极时每圈匝数：

$$N_{n4}=\frac{2mN_4a_4}{Q_1}=\frac{2\times3\times201\times1}{36}\text{匝}=33.5\text{ 匝}$$

取 $N_{n4}=33$ 匝。

4 极时导线直径：

$$d_4=(1.05\sim1.08)d_6=(1.05\sim1.08)\times1.4\text{mm}=1.47\sim1.51\text{mm}$$

取标准线径：$d_4=1.5\text{mm}$（即 4 极用 1-$\phi1.5$）。

4 极时额定功率：

$$P_{e4}=(1.15\sim1.25)P_{e6}=(1.15\sim1.25)\times7.5\text{kW}=8.6\sim9.4\text{kW}$$

取 $P_{e4}=9\text{kW}$。

⑤ 验算：转子表面的圆周速度：

$$V_2 = \frac{\pi D_2 n_4}{60 \times 100} = \frac{3.14 \times 17.33 \times 1400}{60 \times 100} \mathrm{m/s} = 12.7\mathrm{m/s}$$

$V_2 < 40 \sim 60\mathrm{m/s}$，符合要求。

计算额定转矩：

$$T_{e4} = 9550 \frac{P_{e4}}{n_{e4}} = 9550 \times \frac{9}{1400} \mathrm{N \cdot m} = 61.4\mathrm{N \cdot m}$$

T_{e4}应大于负载转矩。

结果：4 极绕组确定为：单层交叉式绕组，每圈的匝数 $N_{n4} = 33$ 匝；线径为 $1 - \phi 1.5$，支路数 $a = 1$，仍用△接；额定功率为 $P_e = 9\mathrm{kW}$。

二、单速电动机改为双速电动机

（一）确定改绕方案

1．选择待改的单速电动机

主要考虑 4 个方面：

1）单速电动机的极数按表 6-4 优先选用方案 1 的极数，其次选用方案 2 的极数。

表 6-4　单速电动机极数的选择

双速电动机极数		2/4	4/8	4/6	6/8	2/8
方案 1	单速电动机极数	4	4	6	6	4
方案 2		2	6	4	—	—

2）单速电动机的功率比改绕后同极数电动机所需功率大 1～2 个功率等级。

3）定子槽数应能适应改绕的极数要求，以形成三相对称绕组。一般可按表 6-5 选择。

表 6-5　可供改绕的电动机定子槽数

双速电动机极数	2/4	4/8	4/6	6/8	2/8
单速电动机定子槽数	24、36、48、54、60、72	24、36、48、60、72	36、48、72	36、54、72	24、36、72

4）核对定、转子槽数配合，仍然无 $Q_1 - Q_2 = 0$、 $\pm 2p$、$1 \pm 2p$、 $\pm 2 \pm 4p$ 的配合关系，使改绕后的电动机性能好些。

2．记录单速电动机的有关数据

主要包括：①铭牌全部数据；②定、转子槽数 Q_1 和 Q_2；③每槽导线数 N_1，导线直径 d 及并绕根数 n；④节距 y_1 及并联支路数 a；⑤绕组形式。

3. 选择改绕方案

根据电动机功率及负载特性综合考虑，相关数据可从表6-6中选取。对恒转矩负载可选用正规分布绕组2 Y/Y、△/Y联结。对恒功率负载可选用非正规分布绕组2 Y/△、Y/Y、△/△、2 Y/2 Y联结。一般采用双层绕组。

表6-6　常用单速电动机变极方案

极　数	槽　数	节　距	绕组系数 极　数	绕组系数 K_w	联结方式及引出线根数	变极原理
2/4	24	1—7	2 4	0.677 0.836	2Y/Y (6) 2Y/△ (6) 2Y/2Y (9)	以2极为基本极，一半反接
	36	1—10	2 4	0.676 0.831		
	48	1—13	2 4	0.676 0.829		
	60	1—16	2 4	0.676 0.828		
4/8	24	1—4	4 8	0.683 0.866	2Y/Y (6) 2Y/△ (6) 2Y/2Y (9)	以4极为基本极，一半反接
		1—5	4 8	0.837 0.75		
	36	1—6	4 8	0.735 0.831		
	48	1—7	4 8	0.677 0.836		
	60	1—9	4 8	0.711 0.828		
4/6	36	1—7	4 6	0.831 0.644	2Y/Y (6) 2Y/△ (6)	以4极为基本极，一半反接
		1—8	4 6	0.9 0.622		
	36	1—7	4 6	0.72 0.88		非正规分布，无基本极
		1—8	4 6	0.781 0.85		
	48	1—9	4 6	0.72 0.88		
6/8	36	1—6	6 8	0.622 0.945	2Y/Y (6) 2Y/△ (6)	以8极为基本极，一半反接
		1—7	6 8	0.644 0.83		
	36	1—6	6 8	0.85 0.815		非正规分布，无基本极
		1—7	6 8	0.88 0.72		

（二）改绕计算

1. 确定双速绕组的每槽导体数

1）改绕成的双速电动机，其中有一极数与原单速电动机的极数相同，从保证该极数下有相同磁密的原则出发，按下式初步计算双速绕组的每槽导体数 Z_{Q1}^{*}。

$$Z_{Q1}^{*}=\frac{U_{\phi}K'_{W}a}{U'_{\phi}K_{W}a'}Z'_{Q1} \tag{6-7}$$

式中，Z_{Q1}^{*}为单速绕组每槽导线数（根/槽）；U'_{ϕ}为单速绕组的相电压（V）；K'_{W}为单速绕组系数；a'为单速绕组的并联支路数。U_{ϕ}、K_{W}、a 为与原单速电动机同极数的双速绕组数值。

2）修正每槽导线数

双速电动机两种极数下的磁密比为：

$$\frac{B_{\delta2}}{B_{\delta1}}=\frac{U_{\phi2}p_{2}N_{1C}K_{W1}}{U_{\phi1}p_{1}N_{2C}K_{W2}} \tag{6-8}$$

式中，$B_{\delta2}$为气隙磁通密度；N_{C} 为每相串联匝数，绕组串联时：$N_{1C}/N_{2C}=1$，并联时：$N_{1C}/N_{2C}=1/2$；p 为极对数；注脚 1 和 2 分别为少数极和多数极的相关量。

设 $B_{\delta2}/B_{\delta1}=1/\alpha$，则双速绕组每槽导线数（根/槽）可用下列近似公式修正：

$$Z_{Q1}=\frac{1+\alpha}{2}Z_{Q1}^{*}$$

2. 确定导线直径

$$d=\sqrt{\frac{Z'_{Q1}}{Z_{Q1}}}d' \tag{6-9}$$

式中，d'为原单速绕组的导线直径（mm）。

3. 估算功率

1）与原单速电动机同极数的功率（kW）为：

$$P=\frac{U_{\phi}ad^{2}}{U'_{\phi}a'd'^{2}}P'$$

式中，P'为原电动机功率（kW）。

2）双速电动机两种极数下的功率比：

$$\frac{P_{2}}{P_{1}}\approx K\frac{U_{\phi2}a_{2}}{U_{\phi1}a_{1}} \tag{6-10}$$

式中，P_{2} 为多极数时的功率（kW）；P_{1} 为少极数时的功率（kW）；K 为功率降低系数，$K=0.7\sim0.9$，近极比取大值，远极比取小值。

（三）绕组的调制、嵌放和接法（见第四章）

【例 6-8】 试将一台 $JQ_2 71$-2 型 22kW 电动机改为 2/4 极双速电动机，带恒转矩负载。

解：

1. 分析改绕的可能性

1）将该台电动机（2 极）改为 2/4 极后，电动机的输出功率将要减小。

2）该台电动机定子槽数 $Q_1=36$，转子槽数 $Q_2=28$，其配合对 2/4 极电动机均无 $Q_1-Q_2=0$、$\pm 2p$、$1\pm 2p$、$\pm 2\pm 4p$ 的关系。

3）2 极改为 2/4 极后，能满足 $Q_1/p=$ 整数及 $Q_1/(tm)=$ 整数（t 为 Q_1/p 的最大公约数，$m=3$）的条件可形成三相对称绕组（见第四章）。

2. 改绕计算

1）因改后电动机带恒转矩负载，选用正规分布绕组，2 Y/Y联结。双层叠绕组，$y=9$，绕组系数 $K_{W4}=0.831$，$K_{W2}=0.676$（见表 6-6）。

2）已知数据，单速电动机：功率 $P'_e=22$kW，△联结，相电压 $U'_\phi=380$V，并联支路数 $a'=1$，线径 $d'=4-\phi 1.35$。每槽导体 $Z'_{Q1}=20$，双层叠绕 $y'=12$，$q'=6$，绕组系数 $K'_W=K'_d K'_y=0.956\times 0.866=0.828$。

双速电动机 $y=9$，2 Y/Y 联结，双层绕组。4 极时，$U_2=220$V，$a_4=1$，$K_{W4}=0.831$。2 极时，$U_2=220$V，$a_2=2$，$K_{W2}=0.676$。

3）计算匝数、线径及功率

① 每槽导线数（以 2 极为基本极）

$$Z^*_{Q1}=\frac{U_2 K'_W a_2}{U'_\phi K_{W2} a}Z'_{Q1}=\frac{220\times 0.828\times 2}{380\times 0.676\times 1}\times 20(\text{根/槽})=28.29(\text{根/槽})$$

修正每槽导线数：

$$\frac{B_{\delta 4}}{B_{\delta 2}}=\frac{U_{\phi 4}p_4 N_2 K_{W2}}{U_{\phi 2}p_2 N'_6 K_{W6}}=\frac{220\times 2\times 1\times 0.676}{220\times 1\times 2\times 0.831}=\frac{1}{1.229}$$

$$Z_{Q1}=\frac{1+a}{2}Z^*_{Q1}=\frac{1+1.229}{2}\times 28.29(\text{根/槽})=31.53(\text{根/槽})$$

取 $Z_{Q1}=32$（根/槽），每个线圈 $N_n=16$ 匝（双层）。

② 确定线径：

$$d=\sqrt{\frac{Z'_{Q1}}{Z_{Q1}}}d'=\sqrt{\frac{20}{30}}\times 1.35\text{mm}=1.1\text{mm}$$

因为原单速电动机为 4 根并绕，所以也按 4 根 $\phi 1.1$mm 计算，总截面积 $S^*=3.8\text{mm}^2$。

按等截面积原则换算得实际导线应该是：3 根 $\phi 1.3$mm 并绕。

③ 功率估算：

2 极时：

$$P_2=\frac{U_2a_2d_2^2n_2}{U'_\phi a'd'^2n'}P'=\frac{220\times2\times1.3^2\times3}{380\times1\times1.35^2\times4}\times22\text{kW}=17.67\text{kW}$$

4 极时，取功率比 $K=0.8$

$$P_4=K\frac{U_4a_4}{U_2a_2}P_2=\frac{220\times1}{220\times2}\times0.8\times17.67\text{kW}=7\text{kW}$$

4）计算结果：双速电动机数据为

$U_e=380\text{V}$，2 Y/Y联结，2/4 极，$P_e=$（17.67/7）kW；绕组数据为：双层绕组 $y=$（1－10），每个线圈 $N_n=16$，用 3－ϕ1.3mm 漆包圆铜线。

3．绕组的调制、嵌放和接法

参阅第四章第三节。

第三节　三相异步电动机的重绕和计算

在生产实践和修理电动机时，经常会碰到重换三相异步电动机的定子绕组问题。本节主要对重绕中的方法和计算按不同情况分别予以介绍。

一、正常的定子重绕方法

所谓正常的定子重绕方法是指电动机的铭牌完好，原始绕组依然存在，只需拆除原绕组后换上新绕组即可。这种情况时，必须记录它的铭牌数据、铁心数据，边拆原绕组边记录原绕组数据，制成原始数据记录卡。并将新绕组的绕制和嵌放数据对照记入卡中，存入技术档案中。这样做的目的有两个：一是备用重绕后的检查试验用；二是备用电动机以后的使用检修查阅。重绕时，除必要的改进外，尽可能按原始绕组的数据进行嵌放。主要因为原始绕组的数据是经厂家设计、试制和检验合格的，一般属于最佳数据。这点在实践中非常重要。表 6-7 是三相异步电动机定子绕组重绕记录卡的一种形式，供参考。

二、有铭牌的空壳电动机定子绕组的重绕

当电动机仅铭牌尚在，而定子绕组原始数据丢失时，因为国产系列电动机产品的主要数据是相同或相近的，所以可根据铭牌的型号额定值等数据在有关手册或资料（本书附录）中查阅出同种产品的全部绕组数据。依据这些数据也可进行重绕。

【例 6-9】 有一台空壳电动机，铭牌上的型号为 JQ_261-4，额定功率 $P_e=13\text{kW}$，试确定此电动机定子绕组的数据。

解： 先测出定子铁心数据，定子铁心外径 $D_1=28\text{cm}$，内径 $D=18.2\text{cm}$，定子槽数 $Q_1=36$，铁心长度 $L=15.5\text{cm}$。

查有关手册可知，JQ_261-4 电动机定子铁心数据与实际空壳铁心数据一致。得到定子绕组的数据为：

双层叠绕式，节距 $y=(1-8)$，每个线圈的匝数 $N_n=27$，绕制的导线直径为 $1-\phi1.25$，并联支路 $a=2$，E 级绝缘，绕组为△联结。

可按上述查得的数据对空壳电动机进行重绕。

表 6-7　三相异步电动机定子绕组重绕数据记录卡

一、铭牌数据

型号 电流 功率因数 转子电流 制造厂	功率 接线 运行方式 绝缘等级 产品编号	频率 转速 负载率 温升	电压 效率 转子电压 重量 出厂日期

二、铁心数据

定子铁心外径 气隙值 定子槽数	定子铁心内径 通风槽宽 转子槽数	定子铁心长度 通风槽数 槽形主要尺寸

三、定子绕组数据

名称	原始数据	重绕数据
绕组形式 线圈节距 导线型号规格 并绕根数 并联支路和接法 每槽导体数 端部尺寸 槽绝缘材料 槽绝缘厚度 槽楔材料尺寸		
四、改进措施		重绕日期：　　年　　月　　日

三、空壳电动机定子绕组的类比重绕计算

对既无铭牌也无定子绕组数据的空壳电动机，若要进行重嵌绕组，目前计算的方法有多种。这里介绍一种简明使用的计算方法——类比法。

多年来，我国先后生产制造了很多型号的系列电动机，对这些系列电动机的结构和绕组技术数据，在有关手册和资料均有记载。对于电压、转速相同、尺寸相近的电动机，它们的电磁负荷具有接近的数值。据此，对一些无铭牌、无定子

绕组数据的空壳电动机，可以查取相近的系列电动机，按相似原理用比例法来求取该台电动机的绕组数据和功率。其步骤如下：

1）测量空壳电动机的有关数据：

定子铁心内径 D_{i1}（mm），铁心长度 L（mm），铁心轭部高度 h_{ys}（mm），定子铁心的齿宽 b_{ds}（mm），槽数 Q，槽面积 S_c（mm^2）。

2）估算极数：

$$2p = (0.35 \sim 0.4)\frac{Q_1 b_{ds}}{h_{ys}}(\text{取整偶数})$$

3）按相似原则查国家标准系列型号电动机的数据。例如查阅本书后附录1，找出形式相同，极数相同，定子铁心内径、长度尽可能相近的标准型号电动机作参考，记下它的每个线圈的匝数 N'_n，槽数 Z'_Q，导线直径 d'（mm），容量 P'_e(kW)及铁心内径 D'_{i1} 和铁心长度 L'。

4）计算嵌放的绕组中每个线圈匝数 N_n：

$$N_n = \frac{D_{i1}LQ}{D'_{i1}L'Q'}N'$$

5）计算导线直径（mm）：

$$d = d'\sqrt{\frac{D_{i1}N'_nQ'}{D'_{i1}N_nQ}}$$

取标准线径。

6）验算槽填充系数：

$$K_T = \frac{Z_Q d^2}{S_c} \tag{6-11}$$

式中，Z_Q 为每槽导体数（根/槽）。

一般 $K_T = 0.46 \sim 0.48$。计算的 K_T 应在范围内，否则应重选导线。

7）计算电动机的功率：

$$P_e = \frac{d'^2}{d^2}P'_e$$

8）确定绕组数据：按所查取的标准系列电动机数据，确定空壳电动机的绕组形式（单层或双层）接法、支路数、并绕根数。

【例 6-10】 一台封闭式笼型异步电动机，其铭牌及绕组数据丢失，测得定子铁心内径 $D_{i1} = 95$mm，长度 $L = 112$mm，轭高 $h_{ys} = 77.4mm^2$，齿宽 $b_{ds} = 4$mm，槽数 $Q = 36$，槽的截面积 $S_c = 77.4mm^2$。试将其重嵌上合适的绕组且估算出功率。

解：

1）估算极数：

$$2p=(0.35\sim0.4)\frac{Qb_{ds}}{h_{ys}}=(0.35\sim0.4)\frac{36\times4}{14}=3.6\sim4.1$$

取 $2p=4$。

2）查找国家标准系列电动机和空壳电动机形式相同、尺寸相近的标准型号电动机为 $JQ_2$22-4、1.5kW。

电动机的数据为：定子铁心内径 $D_{i1}=90$mm，长度 $L'=115$mm，$Q'=24$ 槽，导线直径 $d'=0.83$mm，单层链式绕组，每个线圈的匝数 $N_n=62$，一路Y联结，每极 6 槽，节距 $y'=$（1－6）。

3）计算空壳电动机中每个线圈的匝数：

$$N=\frac{D'_{i1}L'Q'}{D_{i1}LQ}N'=\frac{90\times115\times24}{95\times112\times36}\times62\text{ 匝}=40\text{ 匝}$$

4）计算导线直径：

$$d=d'\sqrt{\frac{D_{i1}N'Q'}{D'_{i1}NQ}}=0.83\times\sqrt{\frac{95\times62\times24}{90\times40\times36}}\text{mm}=0.87\text{mm}$$

采用标准线径 ϕ0.86mm 的高强度漆包线。

5）计算槽的填充系数：

$$K_T=\frac{Z_Qd^2}{S_c}=\frac{40\times0.86^2}{77.4}=0.38$$

得知 K_T 远小于规定范围（0.46～0.48），槽满率偏低。再重选标准线径 ϕ0.96mm 的高强度漆包线，这样 $K_T=\frac{Z_Qd^2}{S_c}=\frac{40\times0.96^2}{77.4}\approx0.476$ 符合要求。

6）计算电动机的功率：

$$P_e=P'_e\frac{d^2}{d'^2}=1.5\times\frac{0.96^2}{0.83^2}\text{kW}=2\text{kW}$$

7）确定电动机的数据

对照 $JQ_2$22-4 型可得，空壳电动机的绕组数据为：$2p=4$，单层绕组，节距 2（1～9）、1（1～8），每个线圈匝数 $N_n=40$ 匝，并联支路数 $a=1$，导线为 1－ϕ0.96mm，空壳电动机的额定值为：额定功率 $P_e=2$kW，$U_e=380$V，Y联结，$f_e=50$Hz。

四、空壳电动机重绕综合计算法

对一些空壳电动机，在查阅国家标准系列电动机产品中也没有相近的电动机与之比较，这时，对它重嵌定子绕组只有用下面介绍的综合计算法。此方法适用

于50Hz、100kW以下的低压电动机。

计算过程：

1）测量有关数据。测量定子铁心外径 D_1（cm），内径 D_{i1}（cm），铁心长度 L（cm），槽数 Q，槽截面积 S_c（cm^2），齿宽 b_{ds}（cm）及铁心轭高度 h_{ys}（cm）。

2）确定电源电压和同步转速。根据要求确定重绕后电动机的电源电压和同步转速（或极对数 p）。

3）计算极距（cm）：

$$\tau_p = \frac{\pi D_{i1}}{2p}$$

4）计算每极磁通（Wb）：

$$\Phi = 0.637\,\tau L B_\delta \times 10^{-4} \tag{6-12}$$

式中，B_δ为气隙磁通密度（T），按表6-8选取。

表6-8　异步电动机定子绕组电磁计算参考数据

项　目		符　号	单　位	定子铁心外径/cm		
				15～25	25～35	35～45
气隙磁通密度		B_δ	T	0.6～0.7	0.65～0.75	0.7～0.8
齿磁通密度		B_d	T	1.3～1.6	1.4～1.7	1.5～1.8
轭磁通密度		B_y	T	1.1～1.5	1.2～1.5	1.3～1.5
定子绕组电流密度	防护式	j_1	A/mm²	5～6	5～5.6	5～5.6
定子绕组电流密度	封闭式	j_1	A/mm²	4.8～5.5	4.2～5.2	3.7～4.2
线　负　荷		AS	A/cm	150～250	250～350	350～450

5）验算轭部磁通密度（T）：

$$B_y = \frac{\Phi}{1.84 h_{ys} L} \times 10^4$$

算得的 B_y 值与表6-8核对，如相差较大，说明极对数 p 不恰当，应重新确定 p 值；如相差不大，可重选 B_δ，使算得的 B_y 值在表6-8的范围内。

6）验算齿磁通密度（T）：

$$B_d = \frac{3.4 p\phi}{Q b_{ds} L}$$

所得 B_d 值应符合表6-8的数值，否则应重选 B_δ，并进行上述计算，使 B_d 值符合要求为止。这时再由公式 $\Phi = 0.637\,\tau L B_\delta \times 10^{-4}$（Wb）算得的 Φ 值即为电动机的每极磁通。

7）确定线圈节距及绕组系数

单层绕组采用全节距：

$$y = \tau = \frac{Q}{2p}$$

双层绕组采用短节距，短距比：

$$\beta = \frac{y}{\tau}$$

一般取短距比 $\beta = 0.8$。根据短距比 β 及分布系数 K_d（由每极每相槽数决定，参考第二章第一节）查表 6-9 决定绕组系数 K_W。也可参考第二章第一节计算得到。

表 6-9　双层短距绕组的绕组系数 K_W

每极每相槽数	分布系数（K_d）	短距比（β）					
		0.95	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
1	1	0.997	0.988	0.972	0.951	0.924	0.891
2	0.966	0.963	0.954	0.939	0.919	0.893	0.861
3	0.960	0.957	0.948	0.933	0.913	0.887	0.855
4	0.958	0.955	0.947	0.931	0.911	0.885	0.854
5 ~ 7	0.957	0.954	0.946	0.930	0.910	0.884	0.853

8）计算绕组每相串联匝数 N_c（匝/相）：

$$N_c = \frac{U_\phi}{4.44fK_W\phi} \tag{6-13}$$

式中，U_ϕ 为相电压（V）；f 为电源频率（Hz）。

9）计算每槽有效导线数 Z_Q（根/槽）：

$$Z_Q = \frac{2mN_c}{Q_1} \tag{6-14}$$

式中，m 为相数。

调整 N 和 Z_Q 为整数，对单层绕组，Z_Q 即为每个线圈的匝数；对双层绕组，则每个线圈的匝数为 $Z_Q/2$，且 Z_Q 必须为偶数。

10）计算导线截面积（mm^2）：

$$S = \frac{S_c K_T}{Z_Q} \tag{6-15}$$

式中，S_c 为槽的截面积（mm^2）；K_T 为槽内填充系数。采用双纱包圆铜线时 $K_T = 0.35 \sim 0.42$，采用单纱包漆包线时 $K_T = 0.43 \sim 0.45$，采用漆包线时 $K_T = 0.46 \sim 0.48$。

当导线截面积较大时，可用多根较小的导线并绕，或按表 6-10 采用两条以上的并联支路。这时每根导线的截面积 S'（mm^2）为：

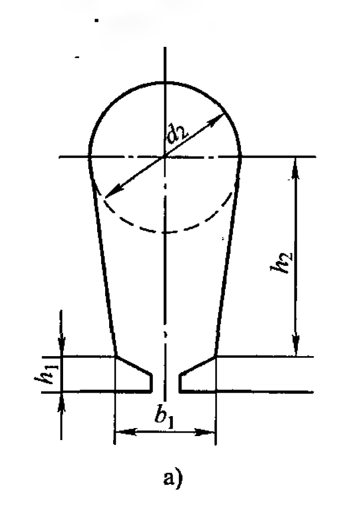
表 6-10　三相绕组的并联支路数

极数	2	4	6	8	10	12
支路数	1，2	1，2，4	1，2，3，6	1，2，4，8	1，2，5，10	1，2，3，4，6，12

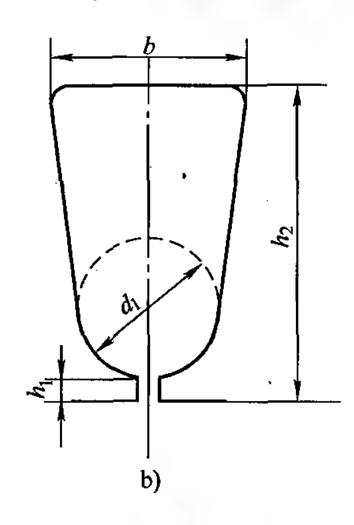
$$S' = \frac{S}{na} \tag{6-16}$$

式中，n 为并绕导线数（根）；a 为并联支路数。

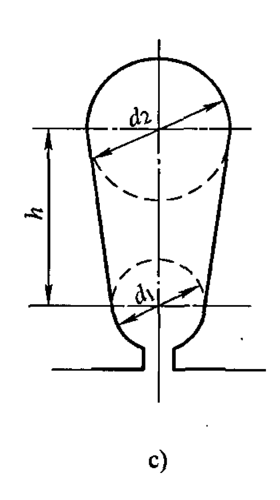
常见的槽形各部分尺寸如图 6-5 所示，槽的截面积 S_c 分别按下列公式计算。



a)



b)



c)

图 6-5　定子铁心槽形及部分尺寸

① 圆底斜顶槽（mm^2）：

$$S_c = \frac{d_2 + b_1}{2}(h_2 + h_1) + \frac{\pi d_2^2}{8}$$

② 平底圆顶槽（mm^2）：

$$S_c = \frac{b + d_1}{2}[h_2 - (h_1 + 0.5d_1)] + \frac{\pi d_1^2}{8}$$

③ 圆底圆顶槽（mm^2）：

$$S_c = \frac{h(d_1 + d_2)}{2} + \frac{\pi(d_1^2 + d_2^2)}{8}$$

11）计算裸导线直径（mm）：

$$d = 1.13\sqrt{S'}$$

12）计算每根导线的电流（A）：

$$I_n = S'j$$

式中，j 为电流密度（A/mm^2），其值按表 6-8 选取。

相电流（A）：$I_\phi = naI_n$

13）验算线负荷（A/cm）：

$$AS = \frac{I_n Z_Q anQ}{\pi D_{i1}}$$

其值应符合表 6-8，否则必须重新选 j。

14）计算电动机的额定功率（kW）：

$$P_e = 3U_\phi I_\phi \eta\cos\varphi \times 10^{-3} \qquad (6\text{-}17)$$

式中，η 和 $\cos\varphi$ 分别为电动机的效率和功率因数。分别在表 6-11 查取。

表 6-11　中小型三相异步电动机功率因数 $\cos\varphi$ 和效率 η

功率/kW	2 极		4 极		6 极		8 极	
	η（%）	$\cos\varphi$	η（%）	$\cos\varphi$	η（%）	$\cos\varphi$	η（%）	$\cos\varphi$
10 以下	76 ~ 86	0.85 ~ 0.88	74 ~ 86	0.76 ~ 0.88	70 ~ 85	0.68 ~ 0.80	68 ~ 85	0.65 ~ 0.71
10 ~ 30	87 ~ 89	0.88 ~ 0.9	86 ~ 89	0.87 ~ 0.88	86 ~ 89	0.81 ~ 0.85	86 ~ 88	0.78 ~ 0.83
30 ~ 100	90 ~ 92	0.91 ~ 0.92	90 ~ 92	0.88 ~ 0.90	90 ~ 92	0.86 ~ 0.89	89 ~ 91	0.82 ~ 0.84

【例 6-11】　一台防护式笼型异步电动机，其铭牌及绕组数据丢失。测得定子铁心有关数据如下：外径 $D_1 = 36.8\text{cm}$，内径 $D_{i1} = 23\text{cm}$，长度 $L = 13.5\text{cm}$，齿宽 $b_{ds} = 1.1\text{cm}$，槽数 $Q = 36$。圆底圆顶槽，槽形尺寸 $d_1 = 9.4\text{mm}$，$d_2 = 13.6\text{mm}$，$h = 23.5\text{mm}$（参看图 6-5）。求定子绕组数据及电动机的功率。

解：

1）确定电源电压和同步转速。电源电压为三相线电压 380V，极数为：$2p = 4$。

2）计算极距：

$$\tau = \frac{\pi D_{i1}}{2p} = \frac{3.14 \times 23}{4}\text{cm} = 18\text{cm}$$

3）计算每极磁通。根据铁心外径 $D_1 = 368\text{mm}$，查表 6-8 取 $B_\delta = 0.8\text{T}$，则每极磁通：

$$\Phi = 0.637\,\tau LB_\delta \times 10^{-4} = 0.637 \times 10 \times 13.5 \times 0.8 \times 10^{-4}\text{Wb} = 1.24 \times 10^{-2}\text{Wb}$$

4）验算轭部磁通密度：

$$h_{ys} = \frac{1}{2}(D_1 - D_{i1}) - \left[\frac{1}{2}(d_1 + d_2) + h\right]$$

$$= \left\{\frac{1}{2} \times (36.8 - 23) - \left[\frac{1}{2} \times (0.94 + 1.36) + 2.35\right]\right\}\text{cm} = 3.4\text{cm}$$

$$B_y = \frac{\Phi}{1.84 h_{ys} L} \times 10^4 = \frac{1.24 \times 10^{-2}}{1.84 \times 3.4 \times 13.5} \times 10^4\text{T} = 1.47\text{T}$$

B_j 值符合表 6-8 的范围。

5）验算齿磁通密度：

$$B_d = \frac{3.4p\Phi}{Qb_dL} \times 10^4 = \frac{3.4 \times 2 \times 1.24 \times 10^{-2}}{36 \times 1.1 \times 13.5} \times 10^4 \mathrm{T} = 1.58\mathrm{T}$$

B_d 值亦在表 6-8 的范围内。所以将磁通 $\Phi = 1.24 \times 10^{-2}$Wb 作为计算绕组的依据。

6）确定线圈节距及绕组系数

采用双层叠绕组，短节距。取短节距比 $\beta = 0.8$，则线圈节距：

$$y = \beta \frac{Q}{2p} = 0.8 \times \frac{36}{4} = 7.2$$

取 $y = 7$。

即线圈节距为：1～8，每极每相槽数：

$$q = \frac{Q}{2pm} = \frac{36}{4 \times 3} = 3$$

查表 6-9 得绕组系数 $K_W = 0.913$。

7）计算绕组每相串联匝数，采用△联结，$U_\Phi = 380$V。

$$N_c = \frac{U_\Phi}{4.44fK_W\Phi} = \frac{380}{4.44 \times 50 \times 0.913 \times 1.24 \times 10^{-2}}(\text{匝/相}) = 151(\text{匝/相})$$

8）计算每槽有效导线数：

$$Z_Q = \frac{2mN_c}{Q_1} = \frac{2 \times 3 \times 151}{36}(\text{根/槽}) = 25\ (\text{根/槽})$$

取偶数，$Z_Q = 24$（根/槽），即每个线圈 12 匝。

9）计算导线截面积（用高强度漆包圆铜线）：

$$S = \frac{S_c K_T}{Z_Q} = \frac{K_T}{Z_Q}\left[\frac{h(d + d_2)}{2} + \frac{\pi(d_1^2 + d_2^2)}{8}\right]$$

$$= \left\{\frac{0.46}{24} \times \left[\frac{23.5 \times (9.4 + 13.6)}{2} + \frac{3.14 \times (9.4^2 + 13.6^2)}{8}\right]\right\}\mathrm{mm}^2 = 7.24\mathrm{mm}^2$$

单根导线截面积较大，故用两根并绕，两条支路并联，则每根导线截面积：

$$S' = \frac{S}{na} = \frac{7.24}{2 \times 2}\mathrm{mm}^2 = 1.8\mathrm{mm}^2$$

10）计算导线直径：

$$d = 1.13\sqrt{S'} = 1.13 \times \sqrt{1.8}\mathrm{mm} = 1.52\mathrm{mm}$$

取标准直径为 $\phi - 1.50$mm，相应导线截面积 $S' = 1.76$mm，由于采用两路并

联，故每个线圈应为 24 匝。

11）计算每根导线电流：

$$I_n = S'j = 1.76 \times 5 = 8.8\text{A}$$

相电流：$I_\phi = naI_n = 2 \times 2 \times 8.8\text{A} = 35\text{A}$

12）验算线负荷：

$$AS = \frac{I_n Z_Q anQ}{\pi D_{i1}} = \frac{8.8 \times 24 \times 2 \times 2 \times 36}{3.14 \times 23}(\text{A/cm}) = 421(\text{A/cm})$$

结果符合表 6-8 的范围。

13）电动机功率：

电动机线电流 $I_N = \sqrt{3} I_\phi = 1.73 \times 35\text{A} = 60.5\text{A}$，估计电动机功率为 30kW，查表 6-11 得 $\eta = 89\%$，$\cos\varphi = 0.88$，，电动机功率：

$$P_e = 3U_\phi I_\phi \eta \cos\varphi \times 10^{-3} = 3 \times 380 \times 35 \times 0.89 \times 0.88 \times 10^{-3}\text{kW} \approx 31\text{kW}$$

14）计算结果

该台电动机主要使用数据：额定功率 $P_e = 31\text{kW}$；额定电压 $U_e = 380\text{V}$；额定电流 $I_e = 60.5\text{A}$；绕组为△联结；极数 $2p = 4$。电动机的绕组数据：双层叠绕组；线圈节距 $y = 7$（1－8 槽），每个线圈匝数为 24；两路并联；导线为 $2-\phi 1.5\text{mm}$ 高强度漆包圆铜线。

第四节　单相异步电动机的重绕计算

对单相异步电动机，若原来的绕组齐全，在重换定子绕组时，仍然按照原绕组的数据进行；若只有名牌型号、主要额定数据，亦可查阅同类型的电动机绕组数据重换绕组。本节主要对无铭牌和无绕组的空壳单相分相电动机重绕计算予以介绍，供读者参考。

一、主绕组计算

1）测量记录有关数据：铁心内径 D_{i1}（cm）；铁心长度 L（cm）；槽形尺寸；定子槽数 Q；极数 $2p$。

或估算 $2p$

$$2p = (0.35 \sim 0.4)\frac{Qb_{ds}}{h_{ys}} \tag{6-18}$$

式中，b_{ds}为定子齿宽度（mm）；h_{ys}为定子铁心轭高（mm）。

2）计算极距（cm）：$\tau = \dfrac{\pi D_{i1}}{2p}$

3）计算每极磁通（Wb）：

$$\Phi = \alpha_\delta \tau L B_\delta \times 10^{-4} \tag{6-19}$$

式中，α_δ 为极弧系数（其值为0.6～0.7）；B_δ 为气隙磁通密度（T），当 $2p=2$，取 $B_\delta=0.35\sim0.5$T，当 $2p=4$，取 $B_\delta=0.55\sim0.7$T。

4）计算串联总匝数（匝）：

$$N_n=\frac{E}{4.44f\Phi K_W} \tag{6-20}$$

式中，E 为绕组感应电动势（V）。

通常 $E=K_E U_e$，其中 U_e 为电动机的电源电压（如220V）。K_E 是电动势系数，$K_E=0.8\sim0.94$，功率小、极数多的电动机取小值。K_W 是绕组系数，集中式绕组 $K_W=1$，单层绕组 $K_W=0.9$，正弦绕组 $K_W=0.78$。

5）导线截面积：在单相电动机中，主绕组导线较粗，应根据主绕组来确定槽满率。

① 槽的有效面积（mm^2）：

$$S_c'=KS_c \tag{6-21}$$

式中，S_c 为槽的截面积（mm^2），各种槽形的 S_c 计算公式见本章第三节；K 为槽内导体占空系数，$K=0.5\sim0.6$。

② 导线截面积（mm^2）：

$$S_m=\frac{S_c'}{Z_{Qm}} \tag{6-22}$$

式中，Z_{Qm}为主绕组每槽导线数（根）。

对于主绕组占总槽数2/3的单叠绕组：

$$Z_{Qm}=\frac{2N_m}{\frac{2}{3}Q}=\frac{3N_m}{Q}$$

对于正弦绕组，Z_{Qm}应取主绕组导线最多的那一槽来计算。若该槽中同时嵌放副绕组时，则在计算 S_c'时应减去副绕组所占的面积或降低 K 值。当电动机的额定电流为已知，可按下式计算导体截面积（mm^2）：

$$S_m=\frac{I_N}{j} \tag{6-23}$$

式中，j 为电流密度（A/mm^2），一般 $j=4\sim7$（A/mm^2）。对2极电动机取较小值。

6）功率估算

① 额定电流（A）：$I_e=S_m j$

② 输出功率（W）：

$$P_e=U_e I_e\eta\cos\varphi \tag{6-24}$$

式中，η 为效率；$\cos\varphi$ 为功率因数。

η 和 $\cos\varphi$ 由图 6-6 查取。

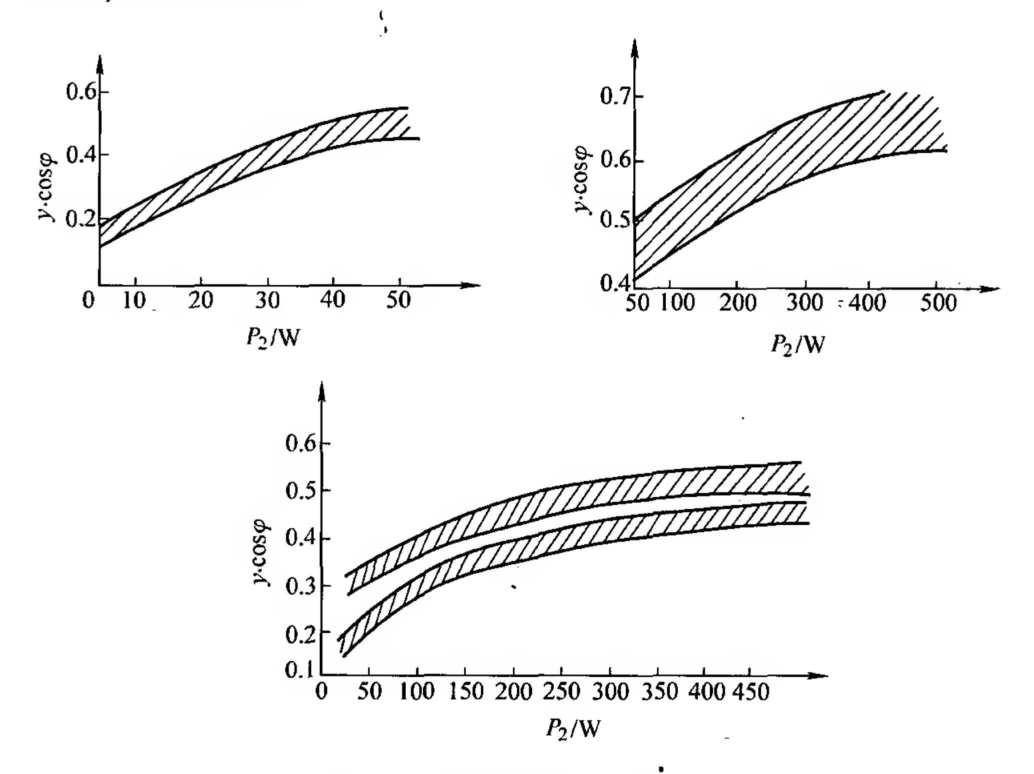


图 6-6　分相电动机的 η 和 $\cos\varphi$

二、副绕组计算

1）电阻分相和电容分相起动式电动机副绕组串联总匝数：

$$N_n = (0.5 \sim 0.7) N_m$$

导线截面积：

$$S_m = (0.5 \sim 0.25) S_m$$

2）电容运转式电动机，串联总匝数：

$$N_n = (1 \sim 1.3) N_m$$

导线截面积与匝数成反比，即：

$$S_n = \frac{S_m}{1 \sim 1.3}$$

三、电容值的确定

电动机的电容值按下列经验公式确定：

1）电容起动式（μF）：

$$C = (0.5 \sim 0.8) P_e$$

式中，P_e 为电动机的功率（W）。

2）电容运转式（μF）：

$$C = 8 j_n S_n \tag{6-25}$$

式中，j_n 为副绕组电流密度（A/mm^2），一般 j_n =（5～7）A/mm^2，电容值也可参考表 6-12 选择。

表 6-12　小功率异步电动机所需电容器的电容量

电动机功率/W	4	8	15	25	40	60	90	120	180	250	370	750
电动机极数	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4
工作电容容量/μF	1	1	1.2	1.2/2	2/2	2/4	4/4	4/6	6			
起动电容容量/μF								75	75	100	100	200

四、绕组的形式选择

一般尽可能用正弦绕组，正弦绕组的每槽匝数分配参见第四章第二节。少槽小容量电动机也可选择等匝单层绕组。

若按上述计算结果绕制绕组，电动机的起动性能不符合要求，可对电容量或副绕组进行调整。对电容式电动机，如起动转矩小，可适当增加电容值；对电阻分相电动机，若起动转矩不足，可减少副绕组匝数，若起动电流过大，可在副绕组串接适当电阻。

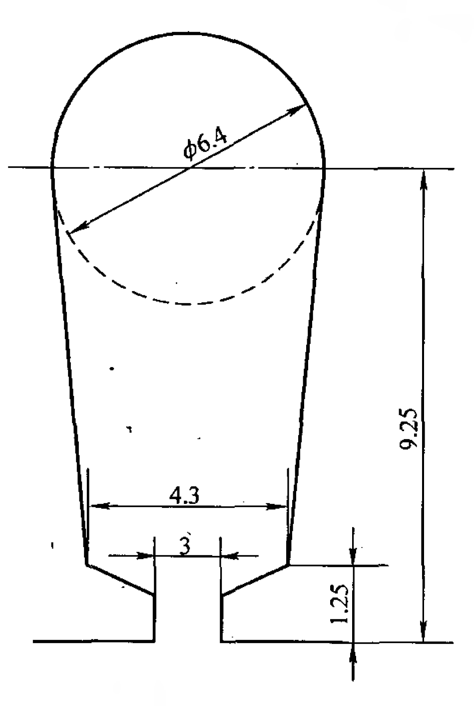


图 6-7　槽形尺寸（单位：mm）

【例 6-12】　一台失去铭牌的空壳单相电动机，绕组数据不清楚，要重绕成电容运转式电动机定子绕组。

解：

1）测得空壳电动机上的有关数据：

定子铁心外径 D_1 = 9cm；内径 D_{i1} = 4.8cm；铁心长度 L = 4.8cm；定子槽数 Q = 24；定子齿宽 b_{ds} = 2.36mm；槽形尺寸见图 6-7，定子轭高 h_{ys} = 10.68mm。

2）估算极数：

$$2p = (0.35 \sim 0.4)\frac{Qb_{ds}}{h_{ys}} = (0.35 \sim 0.4) \times \frac{24 \times 2.36}{10.68} = 1.84 \sim 2.12$$

可知这台电动机：$2p = 2$。

3）计算极距（cm）：

$$\tau = \frac{\pi D_{i1}}{2p} = \frac{3.14 \times 4.8}{2} = 7.536$$

4）每极磁通（Wb）：

取 $B_\delta = 0.5\text{T}$，$\alpha_\delta = 0.6$，则：

$$\Phi = \alpha_\delta \tau L\beta_\delta \times 10^{-4} = 0.6 \times 7.536 \times 4.8 \times 0.5 \times 10^{-4} = 10.85 \times 10^{-4}$$

5）计算主绕组串联总匝数（匝）：

$$N_m = \frac{E}{4.44 f K_W \Phi} = \frac{0.8 \times 220}{4.44 \times 50 \times 0.8 \times 10.85 \times 10^{-4}} = 912$$

6）确定绕组的结构型式：

按照绕组系数 $K_W = 0.8$，每极槽数 $q = Q/2p = 24/2 = 12$，可查表 5-2 得正弦绕组的分布，主绕组为 5B 布线，匝数比为：26.8，25，16.5，10.3。其每极的线圈绕 5 个，从小到大的匝数分配为：（1～12）：122 匝；（2～11）：114 匝；（3～10）：97 匝；（4～9）：75 匝；（5～8）：47 匝。

7）槽面积：

$$S_c = \left[\frac{d_2 + b_1}{2}(h_2 - h_1) + \frac{\pi d_2^2}{\delta} = \frac{6.4 + 4.3}{2} \times (9.25 - 1.25) + \frac{3.14 \times 6.4^2}{8}\right]\text{mm}^2 = 58.9\text{mm}^2$$

槽的有效面积：

$$S_c' = KS_c = 0.5 \times 58.9\text{mm}^2 = 29.45\text{mm}^2$$

8）导线截面积：

$$S_m = \frac{S_c'}{N_m} = \frac{29.45}{122}\text{mm}^2 = 0.241\text{mm}^2$$（取正弦绕组匝数最多的槽 $N_m = 122$ 匝）

查取标准线径为 ϕ－0.55mm，$S_m = 0.238\text{mm}^2$。

9）功率估算：

$I_c = S_m j = 0.238 \times 4\text{A} = 0.952\text{A}$　查图 6-6，得 $\eta\cos\varphi = 0.53$

$P_e = U_e I_e \eta\cos\varphi = 220 \times 0.952 \times 0.53\text{W} = 110\text{W}$

10）电容运转式：副绕组串联总匝数：

$$N_n = (1 \sim 1.3)N_m = (1 \sim 1.3) \times 912 = 912 \sim 1185$$

取 $N_n = 1080$ 匝。

导线截面积：

$$S_n = \frac{S_m}{1 \sim 1.3} = \frac{0.238}{1 \sim 1.3} = 0.238 \sim 0.183\text{mm}^2$$

取标准线径为：ϕ－0.49mm，$S_n = 0.1886\text{mm}^2$。

副绕组亦按 5B 型正弦绕组分配匝数，其匝数比亦为：26.8、25、21.4、

16.5、10.3，每极的线圈也是5个，从大到小的匝数分配为：144、135、115、89、56匝。

11）电容器的选取：

$$C = 8j_nS_n = 8 \times 4 \times 0.1886\mu F = 6\mu F$$

选 $C = 6\mu F$，耐压为400V的电容器。

12）绕组计算结果：

主绕组：采用5B型正弦绕组，共2个极相组每极相组合5个线圈，匝数分配（从大到小）：122、114、97、75、47匝。导线用1-ϕ0.55mm。

副绕组：亦采用5B型正弦绕组，2个极相组，每极相组合5个线圈，匝数分配（从大到小）：144、135、115、89、56匝。导线用1-ϕ0.49mm。绕组的嵌放展开图及端视图参考第四章图4-27和图4-28。

电容器用6μF/400V无极性电容器。

本电动机的额定电压 $U_e = 220V$，功率 $P_e = 110W$。

第五节　绕组的导线及替代计算

电动机定、转子绕组中，导线的直径大小，线圈的匝数，以及绕组的连接方式，是其最主要参数，它们直接影响着电动机的电磁性能。因此，在重换绕组时，一定要保持原来设计的数据，不能随意改变。但是，在实际中往往遇到下列情况：一是重换绕组时，身边没有所需线径的导线；二是对重绕计算出的导线太粗或是过细，造成嵌放困难等。此时，若要用其他线径的电磁线替代，在保证原来电动机电磁性能不变的原则下，必须进行必要的计算和改进。本节介绍常见的几种代替方法。

一、导线的并绕替代计算

若原来的导线太粗（对软绕组导线直径不宜超过1.6mm）或原导线找不到，可以用另外线径的导线并绕来代替。替代的原则是：在绕组原来的形式、接法和线圈匝数不变的情况下，替代前后的导线截面积要相等或近似相等。即：

$$n'S' = nS \tag{6-26}$$

式中，n'为替代后的导线并绕根数；n为替代前的导线并绕根数；S'为替代后的导线截面积（mm^2）；S为替代前的导线截面积（mm^2）。

这样代用导线的截面积 S'为：

$$S' = \frac{n}{n'}S$$

对圆铜线可以换算为：

$$d' = \sqrt{\frac{n}{n'}}d \tag{6-27}$$

式中，d'为替换后裸导线的直径（mm）；d 为原来裸导线的直径（mm）。

对上两式计算的导线直径或截面积可查线规表或用下式转换：

$$d' = 1.13\sqrt{S'} \text{或} S' = 0.785d'$$

【例 6-13】 一台电动机重绕计算所得导线截面积为 5.15mm²，查出的线规为（见附录 C-1）若用一根，其直径 $d = 2.56\text{mm}$，显然导线太粗。

若改为两根并绕，则：

$$S' = \frac{n}{n'}S = \frac{1}{2} \times 5.15\text{mm}^2 = 2.575\text{mm}^2$$

查得线规为：$d' = 1.81\text{mm}$，用两根 $\phi 1.81\text{mm}$ 代替。

但仍然感到导线较粗，若改为三根并绕，则：

$$S' = \frac{n}{n'} = \frac{1}{3} \times 5.15\text{mm}^2 = 1.717\text{mm}^2$$

查得接近的线规：$d' = 1.50\text{mm}$（$S' = 1.767\text{mm}^2$），用 3-$\phi 1.50\text{mm}$ 替代，总截面积为：$1.767 \times 3\text{mm}^2 = 5.3\text{mm}^2$。

如果槽满率允许的情况下，用 $\phi 1.50$ 三根并绕替代比较合适。

二、改变并联支路数替代计算

当导线的并绕根数太多时，不容易使线圈绕制得平整，给嵌线带来困难，或改变并绕根数比较困难，此时也可通过改变绕组的并联支路 a 来实现导体的替代。

改变并联支路 a 与改变并绕根数 n，其本质是一样的。例如，单根导线接成 2 路和两根同样的导线并绕接为一路，情况是完全一样的。

改变并联支路来实现导线的替代原则仍然是使改变前后的导线总截面积不变。这样，如果保持原有并绕根数不变，则有：

$$a'S' = aS$$

若支路数和并绕根数都需要改变时，则有：

$$a'n'S' = anS$$

所以：$S' = \dfrac{an}{a'n'}S$

替代导线的直径为：

$$d' = \sqrt{\frac{an}{a'n'}}d \tag{6-28}$$

式中，a、n、d 分别为改变前的并联支路、并绕根数和线径；a'、n'、d'分别为改变后的并联支路数；并绕根数和线径。

在改变绕组支路时，必须注意两点：

1）若并联支路数由 a 变到 a'，同时要按下式来改变每个线圈的匝数。即：

$$N'_{n}=\frac{a'}{a}N_{n} \tag{6-29}$$

式中，N'_{n}为并联支路数改变为 a'时的每线圈匝数；N_{n} 为并联支路为 a 时的每线圈匝数。

2）并联支路数不能取任意值。例如 4 极 36 槽电动机，双层绕组的支路数只能有：1、2、4，而单层绕组的支路数只有 1 和 2 两种。

【例 6-14】 一台 40kW，72 槽 6 极电动机，嵌放双层叠绕组，计算出一根导线一路接线，导线截面积为 10mm²，每个线圈匝数为 4 匝。对截面积 10mm² 的导线直径为：3.57mm。导线太粗，试用较合适的导线替代。

解：对 6 极电动机双层绕组的并联支路，可接成 1、2、3、6 路，选择方案Ⅰ：选 3 根相同直径的导线并绕，绕组并联支路为 2。

这样：$S_{1}=\frac{an}{a'n'}S=\frac{1\times1}{2\times3}\times10\text{mm}^{2}=1.667\text{mm}^{2}$

选电磁线 $d_{1}=1.45\text{mm}$（$S_{1}=1.651\text{mm}^{2}$）

每圈匝数：$N'_{n1}=\frac{a'_{1}}{a}N_{n}=\frac{2}{1}\times4$ 匝 $=8$ 匝。

得：用 $3-\phi1.45\text{mm}$ 导线，2 路并联，每圈匝数为 8 匝，双层叠绕组，接成 6 极电动机。

选择方案Ⅱ：选 2 根相同直径的导线并绕，绕组并联支路为 3。

这样：$S'_{2}=\frac{an}{a'_{2}n'_{2}}S=\frac{1\times1}{3\times2}\times10\text{mm}^{2}=1.667\text{mm}^{2}$

选电磁线 $d_{2}=1.45\text{mm}$（$S_{2}=1.651\text{mm}^{2}$）

每圈匝数 $N'_{n2}=\frac{a'_{2}}{a}N_{n}=\frac{3}{1}\times4$ 匝 $=12$ 匝

得：用 $2-\phi1.45\text{mm}$ 导线，3 路并联，每圈匝数为 12 匝，双层叠绕组，接成 6 极电动机。

选择方案Ⅲ：用 1 根导线，选 6 路并联。

这样，$S'_{3}=\frac{an}{a'_{3}n'_{3}}S=\frac{1\times1}{6\times1}\times10\text{mm}^{2}=1.667\text{mm}^{2}$

选电磁线 $d_{3}=1.45\text{mm}$（$S_{3}=1.651\text{mm}^{2}$）

每圈匝数 $N_{n3}=\frac{a'_{3}}{a}N_{n}=\frac{6}{1}\times4$ 匝 $=24$ 匝

得：用 ϕ 1.45mm 导线，6 路并联，每圈匝数为 24 匝，双层叠绕组，接成 6 极电动机。

以上 3 个方案的绕组均使电动机性能相同，实际操作时任选哪一种均可。国家标准系列电动机，采用的是第二个方案。

三、改变绕组接线方式替代计算

三相异步电动机的定子绕组可以接成△联结，也可以接为Y联结。但电动机适用的电压就不同了。恰恰利用这个特点，可改变接法来解决导线的替代问题。

在电源频率一定的情况下，电动机的每相串联匝数与其所加的相电压成正比。当电动机为△联结时，每相绕组承受的是线电压 $U_{线}$，每相的匝数为 N_{Δ}，若电动机为Y联结时，每相绕组承受的是相电压 $U_{\phi}=\frac{1}{\sqrt{3}}U_{线}$，这样每相的匝数 $N_{Y}=\frac{1}{\sqrt{3}}N_{\Delta}$，这才使电动机的磁通保持不变。所以，若原电动机绕组为△联结，重绕时，将其改为Y联结，如果还在原来电源电压下工作，必须改为每个线圈的匝数：

$$N_{nY}=\frac{1}{\sqrt{3}}N_{n\Delta}$$

如果还要保持改接后的功率不变，$U_{\phi Y}=\frac{1}{\sqrt{3}}U_{\phi\Delta}$，则电流 $I_{\phi Y}=\sqrt{3}I_{\phi\Delta}$。这样导线截面积应与相电流成正比，所以：

$$S_{Y}=\sqrt{3}S_{\Delta}=1.732S_{\Delta} \tag{6-30}$$

即导线直径：$d_{Y}=\sqrt{1.732}d_{\Delta}$

式中，S_{Y}为Y联结的导线截面积（mm^2）；S_{Δ} 为△联结时导线截面积（mm^2）；d_{Y} 为Y联结时导线直径（mm^2）；d_{Δ} 为△联结时导线直径（mm）。

反过来，如果原来电动机为Y联结，重绕时改为△联结。在同样电源电压下，相电压增大到$\sqrt{3}$倍，此时每圈的匝数也要增加到$\sqrt{3}$倍。即：

$$N_{n\Delta}=\sqrt{3}N_{nY}=1.73N_{nY}$$

要求电动机的功率不变，则：

$$S_{\Delta}=\frac{1}{\sqrt{3}}S_{Y}=0.58S_{Y}$$

$$d_{\Delta}=\frac{1}{\sqrt{1.732}}d_{Y}=0.76d_{Y}$$

根据上述关系式，可通过改变联结方式达到导线的替代。

【例 6-15】 一台需要重绕定子绕组的三相异步电动机，原绕组为一路Y联结，双层绕组，每个线圈匝数 $N_{nY}=12$ 匝，使用的导线直径 $d_Y=1.5\text{mm}$，一根绕制。因身边无这种规格的导线，请改用其他规格的导线来替代。

解：方案Ⅰ：采用2根相同直径的导线并绕，则每根导体的截面积为：

$$S'_Y=\frac{n}{n'}S_Y=\frac{1}{2}\times1.767=0.8835\text{mm}^2$$

查得这种导线直径为：$\phi1.08\text{mm}$。

用2根并绕，总截面积为：1.832mm^2。

方案Ⅱ：将原来Y联结改为△联结，这样导体的截面积则为：

$$S_\Delta=0.58S_Y=0.58\times1.767\text{mm}^2=1.025\text{mm}^2$$

查表得：选 $\phi1.16\text{mm}$ 导线，截面积为 1.057mm^2。同时每个线圈匝数要改为：

$$N_{n\Delta}=1.73N_{nY}=1.73\times12\text{ 匝}=21\text{ 匝}$$

以上两个方案使用了两种规格的导线，在实际中视情况来选择，方案Ⅱ的选取一定在铭牌上，同时将原来的Y联结改成△联结。

以上介绍的三种导线替代方法，在实际中可以综合使用，即：并绕根数、并联支路和接法，同时改变或其中两者同时改变，即可以多一些导线替代方法。

【例 6-16】 一台6极旧式电动机20kW，原来用 $1-\phi2.1\text{mm}$，两路并联的双层叠绕组，每个线圈为9匝，Y联结380V，现重新更换绕组。因需要Y-△降压起动，改接为△联结，怎样绕制。

解：方案Ⅰ：原来的电动机用的纱包线，现改用高强度漆包线，槽满率可能低。在选择导线时，为提高效率，导线的标准直径比计算值要稍大较妥当。

只改变接法，其他不变，则：

$$d_\Delta=0.76d_Y=0.76\times2.1\text{mm}=1.596\text{mm}$$

选标准线径：用 $\phi1.62\text{mm}$ 一根绕制。

每个线圈匝数：$N_{n\Delta}=\sqrt{3}N_{nY}=1.732\times9\text{ 匝}=16\text{ 匝}$。即：用 $1-\phi1.62\text{mm}$，每圈匝数16匝，双层叠绕组，2路并联△联结，进行绕制和嵌放。

方案Ⅱ：将方案Ⅰ采用的 $1-\phi1.62\text{mm}$ 导线改为2根并绕，其他不变，则：

$$S_{n\text{I}}=2.06\text{mm}^2$$

改为：$S_{n\text{II}}=S_{n\text{I}}\times\dfrac{a}{a'}=2.06\times\dfrac{1}{2}\text{mm}^2=1.03\text{mm}^2$

查表：用 $\phi1.16\text{mm}$（$S_{n\text{II}}=1.057\text{mm}$）2根并绕代替。

即：用 $2-\phi1.16\text{mm}$，每圈匝数为16匝，双层叠绕组2路并联，△联结进行

绕制和嵌放。

方案Ⅲ：将方案Ⅰ中的2路并联改为3路并联，1根绕制时，导线截面积改为：

$$S_{n\text{Ⅲ}}=\frac{an}{a'n'}S_{n\text{Ⅰ}}=\frac{2\times1}{3\times1}\times2.06\text{mm}^2=1.373\text{mm}^2$$

查表：用1-ϕ1.35mm（$S_{\text{Ⅲ}}=1.431\text{mm}^2$）1根绕制。

每圈匝数改为：$N_{n\text{Ⅲ}}=\frac{a'}{a}\times N_n=\frac{3}{2}\times16$ 匝 $=24$ 匝。

即：用1-ϕ1.35mm导线，每圈匝数为24匝，双层叠绕组3路并联，△联结进行绕制和嵌放。

第六节　异步电动机定子绕组的嵌绕工艺

对100kW以下的三相异步电动机，其定子绕组多数用高强度漆包圆铜线制成的。因为绕组柔软、韧性好，嵌放在铁心槽内比较容易。常称此类绕组为软绕组（或散嵌绕组）。对定子软绕组的嵌绕实际操作主要分：线圈的绕制、线圈的嵌放、线圈的接线及整形4个主要环节。本节对这4个环节的操作工艺作一简单介绍，供读者在实践中参考。

一、绕组的绕制

绕组线圈的绕制看起来很简单，但是线圈绕制的好坏和正确与否直接关系到下一步嵌放过程的顺利进行与否，也直接影响着电动机的性能。例如：线圈尺寸过小，嵌放起来就困难或根本不能嵌放，但尺寸过大，增加了绕组的阻抗，浪费了铜线，还影响到电动机的装配。所以线圈的绕制一定要仔细和认真。这里重点要强调几点：

1. 绕线模的选择和制作

绕线模一般是由模心和左右两夹板组成的，如图6-8所示。模心是其主要部

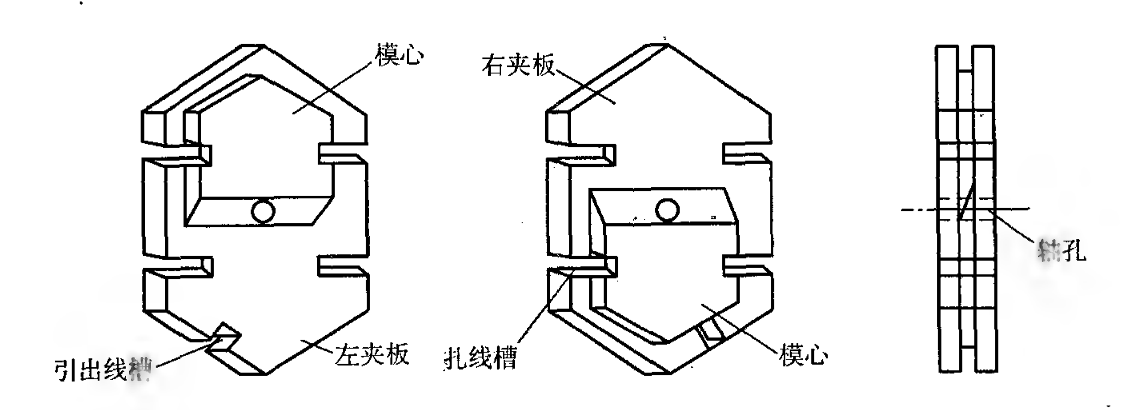


图6-8　绕线模结构

分，它决定着线圈的形状和尺寸。模心的形状选择如图 6-9 所示。其中：菱形端线模多用在双层绕组；等距圆形端线模用在单层链式绕组；不等距圆形端线模用在单层交叉式绕组；塔形线模用于同心式绕组。

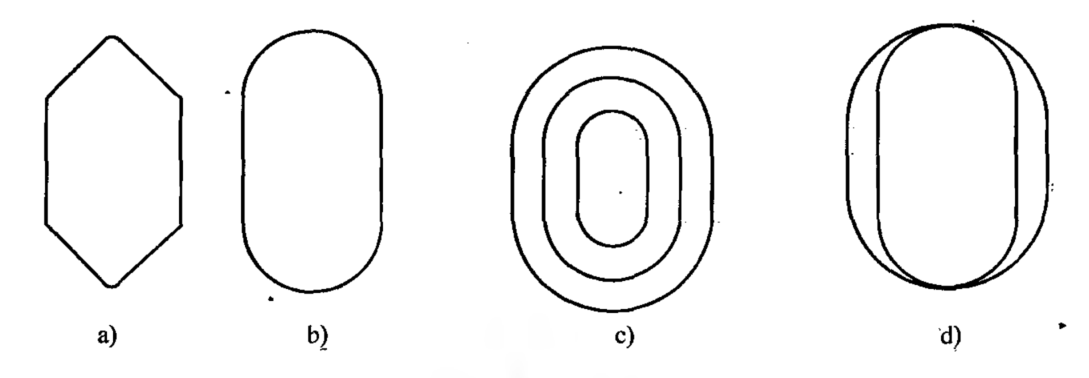


图 6-9　绕线模模心形状举例

确定绕线模模心尺寸有 4 种方法：

1）对标准系列电动机，其绕线模尺寸在该电动机的技术数据中可以查到。

2）根据铁心的实测数据和绕组形式计算绕组绕线模的尺寸（本书不再叙述），但根据计算制成的绕线模必须先试制一个线圈，嵌到槽中，按实际情况对绕线模修改。

3）修理电动机时，在拆除旧绕组时，注意拆下一个完整的原线圈，取其中最小的一匝，参考它的形状和尺寸（周长）选择或制作线模模心。

4）对空壳电动机，可用一根导线按规定的节距放入槽内形成一个线圈，特别注意端部尺寸一定要合适，以这个线圈为准来选择或制成模心。

在修理电动机时，因为遇到的电动机型号、大小多种情况，可以作一个可以调节模型尺寸的活络绕线模，活络绕线模的制作可查有关资料，本书不再叙述。

2．漆包线的选择和质量要求检查

线圈绕制前一定对所绕的电磁线质量要求和尺寸进行检查。电动机所使用的电磁线有不同的型号、规格和耐热等级，可在有关手册或本书后附录中查到，检查所绕导线项目主要有：漆包线的型号，耐热等级，导线的直径是否符合电动机的要求，所绕的漆包线表面是否光滑清洁、不应有气泡和杂质，漆膜不应有起皮或脱落，导线的粗细是否均匀等。

3．线圈的绕制

线圈的绕制一般在绕线机上进行，绕制时要注意几点：要求线圈匝数准确，排列整齐；绕线机的速度要适中，不能过快；导线的拉力不能过大，防止导线拉细或拉断；中途断线，应将接头留在线圈端部斜边位置，不应在直线部分或鼻端有接头；线圈的首端和尾端要留有适当的长度，一般留有半匝长度为宜；绕好的线圈在其内侧直线部分用纸（线）绳捆扎好。线圈绕制的整齐度松散度等质量，

直接影响着嵌放的难度和质量，决不能忽视。

二、线圈的嵌放

1. 线圈嵌放前的准备

绕制好的线圈嵌放在铁心槽中之前，一定要做好以下准备。

（1）铁心的清理　对新铁心一定要将槽内的油污和杂物清理干净，槽内一定要平整光滑，对个别的凸出铁心片一定要锉平，槽口处没有凸出的尖锐铁心片，以防划破绝缘，槽的两端没有张开的铁心片。对旧铁心除清扫槽内的残留污渣外，还要检查铁心上是否有铁心片的凸出部分，保持平整光洁，防止铁心刺伤绝缘。

（2）槽内绝缘的裁剪、放置和准备　绕组的绝缘包括槽内的对地绝缘、层间绝缘（双层绕组）和相间绝缘（端部相间绝缘），此外，还有起锁紧槽内导线作用的槽楔、接线处的绝缘套管、绑扎用的绝缘绑带等。所有这些绝缘材料是保证电动机质量的一个重要因素，这些绝缘材料必须符合电动机的耐热等级，有足够的耐压强度。在嵌放绕组前，首先必须将所需绝缘材料选择好。根据电动机要求，查有关手册或本书后附录，查出各种绝缘的名称型号、耐压等级。表 6-13 列出不同绝缘等级的槽绝缘材料，供读者在实践中参考。

表 6-13　不同绝缘等级的槽绝缘材料

型　号	机 座 号	绝缘等级	材　　料	总厚度 /mm	伸出铁心长度 /mm
JO	3	A	0.1mm 绝缘纸 +0.17mm 黄蜡布 +0.1mm 绝缘纸	0.37	7.5～10
JO	4～5	A	0.17mm 绝缘纸 +0.17mm 黄蜡布 +0.17mm 绝缘纸	0.51	7.5～10
JO	6～9	A	0.2mm 绝缘纸 +0.2mm 黄蜡布 +0.2mm 绝缘纸	0.6	10～15
JO_2	1～3	E	0.27mm 聚酯薄膜青壳纸复合箔	0.27	7.5～10
JO_2	4～6	E	0.27mm 聚酯薄膜青壳纸云母箔 + 0.06mm 聚酯薄膜（或 0.15mm 绝缘纸）	0.33 (0.44)	10～15
JO_2	7～9	E	0.27mm 聚酯薄膜青壳纸云母箔 + 0.06mm 聚酯薄膜（或 0.15mm 绝缘纸）	0.33 (0.44)	10～15
Y	80～112	B	0.30mm 聚酯纤维聚酯薄膜复合箔（DMD，DMDM）	0.3	7.5～10
Y	132～180	B	0.35mm 聚酯纤维聚酯薄膜复合箔（DMD，DMDM）	0.35	7.5～10
Y	200～280	B	0.45mm 聚酯纤维聚酯薄膜复合箔（DMD，DMDM）	0.45	10～15

其次，根据电动机的使用电压选用材料的厚度，见表6-13，各种绝缘裁剪的大小尺寸一定要适合。

电动机使用的槽楔一般分竹楔和胶木楔，后者的绝缘及机械强度比前者好，但成本较高。槽楔的斜面为梯形，长度比槽绝缘长度短3～5mm，两端磨角，紧度适宜，与绝缘相接触的表面应光洁，以防打入槽内时损伤绝缘。

端部相间绝缘和层间绝缘裁剪好，待嵌放绕组时边嵌线边使用，槽内绝缘（对地绝缘）裁剪后，放入槽内。

（3）嵌放绕组的工具准备　嵌线工具主要有压线板（俗称线压子）、理线板、剪刀、手锤、尖嘴钳等。

2. 嵌放绕组的要点

绕组线匝嵌放在槽内，目前主要靠手工进行。人工嵌放绕组的经验、手法的操作巧妙程度，直接影响绕组的嵌放质量。这里仅提出几个要点，提醒操作者注意：

1）操作人员对所嵌电动机绕组的形式、三相绕组的安排关系、线圈的节距必须清楚，否则容易出现嵌放错误。

2）绕组在槽内及槽两端排列整齐，特别在槽内不能有交叉，否则容易使绕组因挤压造成匝间短路。

3）对槽满率较高的绕组不能用压线板强性挤压，只能使导线顺序放入槽内。

4）嵌放绕组时，对槽绝缘不能划伤、挤破，特别对槽两端绝缘伸出端和槽口绝缘纸更应注意。

5）绕组在槽两端的伸出部分尽可能相同，且美观整齐。

6）对放置的端部相间绝缘位置一定要准确，槽内的层间绝缘一定要使同槽的两线圈边彻底隔开。

三、线圈的接线和整形包扎

1. 线圈的接线

正确接线是保证电动机正常工作的必要条件。对接线复杂的绕组一定要认真按工艺步骤进行。

1）首先必须弄清楚绕组的并联支路数，各极相组之间的连接关系及相间的接线方式，对接线复杂的绕组最好先画出圆形接线简图，对照图形连接。

2）注意所留的引出线尽量靠近出线口，最好使引出线（三相绕组的三个首端和三个尾端）整齐地分别排列在出线口两侧。这些在接线前应该考虑好。

3）对生疏或复杂的接线，最好先预接，即：预先将所连接点稍微“挂”在一起，经过检查是否有连接错误，若有错处容易纠正。

4）确信预接正确后，将待接部分的导线段漆膜刮净，用砂布磨光，去除氧

化物及油污，并将剪好的绝缘套管穿入一端的导线内，然后进行连接。

5）绕组内导线的连接，若并绕根数少的采用绞接法，并联根数较多的采用对接法，如图 6-10 所示。

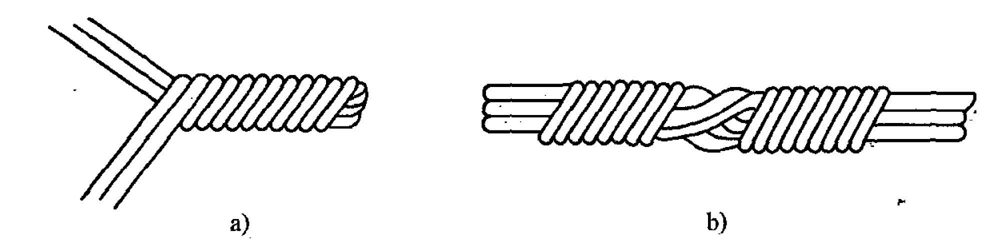


图 6-10　圆导线的连接
a）绞接法　b）对接法

6）引出线的选择和连接：电动机的三相引出线，采用的是专用引出线电缆，见表 6-14，其截面积大小根据电动机的额定电流按表 6-15 确定。

表 6-14　中小型交流电动机常用引出线

型　号	名　　称	用　　途
JACL-2 JACL-4 JACL-6 JACL-8	多层漆绸、纤维编织克线	适用于额定电压 380V 及以下电动机 E 级以下绝缘引出线
JHX JHXG-500	硅橡胶绝缘电动机绕组引出线	适用于额定电压 380V 及以下交流电动机 F 级以下绝缘引出线
JBV	耐热聚氯乙烯绝缘多股软铜线	适用于 380V 及以下交流电动机 A 级绝缘引出线
JBX	丁基橡胶绝缘多股软铜线	适用于 500V 及以下电动机 A 级绝缘引出线
JBXHF	丁基橡胶绝缘耐燃护套电动机引出线	适用于 500V 及以下耐燃电动机 A 级绝缘引出线
JBQ-500	橡胶绝缘丁腈护套引出线	适用于 500V 及以下电动机 E、B 级绝缘引出线
JBF-500	丁腈聚氯乙烯复合绝缘引接线	适用于 500V 及以下电动机 B 级绝缘引出线
JBYH-500	氯磺化乙烯橡皮绝缘引接线	适用于 500V 及以下交流电动机 B 级绝缘引出线
JFEH-500	乙丙橡胶绝缘引接线	适用于 500V 及以下交流电动机 F 级绝缘引出线

表 6-15　引出线截面积选择

电动机额定电流/A	引出线截面积/mm²	电动机额定电流/A	引出线截面积/mm²
6 以下	1.0	61～90	16
6～10	1.5	91～120	25
11～20	2.5	121～150	35
21～30	4.0	151～190	50
31～45	6.0	191～240	70
46～60	10	241～300	95

引出线和绕组接头的连接用绞接法或扎线法，如图 6-11 所示。

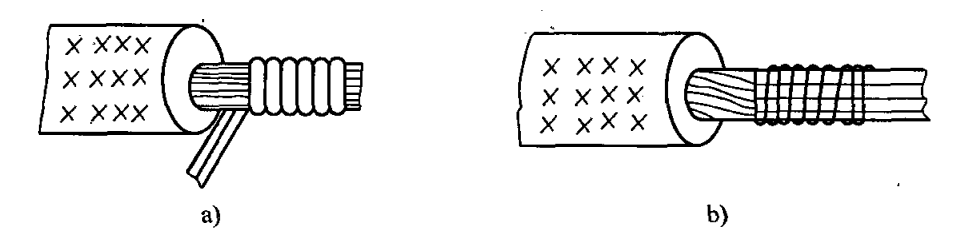


图 6-11　引出电缆的连接
a）绞接法　b）扎线法

7）接头的焊接：连接头的焊接常用锡焊、气焊和碳阻焊。对小型电动机绕组接头常用 150W 电烙铁熔焊锡焊接，或将接头放入已熔化的焊锡中粘焊；对较大容量的电动机绕组接头可用气焊（乙炔气焊）或碳阻焊。以上无论哪种焊接一定要注意焊牢，且焊接部分要平滑，不能留下过大的焊瘤。

接头焊接后，将套在导线上的绝缘套管移过来，套住焊接接头部分，防止金属导电部分裸露在外。

8）绕组的整形包扎：绕组接线焊接完毕后，再对接线情况和各部分绝缘作一次检查，最好测量各相的直流电阻是否平衡。对位移的绝缘要整理到位。然后对绕组两端部线圈高出的部位垫上竹板敲打、整理或用橡胶锤直接敲打，使绕组端部整理成喇叭口状，以利绕组散热通风，并避免转子装配时擦伤。喇叭口的张度要求浑圆、美观，但端部外沿不得碰到机壳，距机座内圆应在 3mm 以上。然后再次检查端部绝缘铺垫的情况，将过高的端部绝缘剪平。最后用尼龙扎线对线门端部与连接线及引出线连接头一起捆绑牢固。

绕组嵌放完毕后，要做必要的测量检查，检查主要包括：各相直流电阻是否平衡；对地和相间绝缘电阻的测量；对地和相间的耐压实验要符合一定的要求（见表 6-19），否则要进行修整。这时的修整比绕组浸漆处理后要容易。

综上所述，电动机绕组的嵌绕是一项技术性较强的工序。稍有疏漏，就会使电动机造成事故隐患，比如，绕组的短路、接地或断路等隐患。所以，操作人员，既要认真，又要细心，不怕费力，更要讲求技巧才行。

第七节　绕组的浸漆工艺

电动机的绕组嵌放后，还要进行浸漆和烘干处理，经过浸漆和烘干，可以提高电动机绕组的性能。主要表现在：

1）驱除潮气，提高防潮能力及增强电气绝缘强度。

2）增加绕组的散热效果：主要因为绝缘漆很快将热量传导出去，这样可大大降低绕组的温升。

3）因为通电的绕组导体要产生电动力，使导线受力产生振动，易使绝缘擦伤，经浸漆烘干后的绕组被粘结成一个整体，可增强绕组的机械强度，这样会大大减少损坏的可能性。因此，浸漆烘干是绕组嵌放后的一道非常重要的工序。

一、常用浸渍漆的种类及质量要求

根据电动机绕组的耐热等级要求，对定子绕组常用的绝缘漆见表6-16。

表6-16　电动机绕组常用绝缘漆

耐热等级	名　称	溶　剂	特点和用途
E、B	三聚氰胺醇酸漆 1032	二甲苯和200号溶剂汽油	耐潮湿、耐油性、内干性好，机械强度较高，且耐弧性好，可供浸渍在湿热地区使用的电动机绕组
	环氧酯漆 1033	二甲苯和丁醇	耐潮湿、内干性较好，机械强度高、粘结力强，可供浸渍湿热地区的线圈
	环氧聚酯快干溶剂漆 1034		固化快、挥发物较少，耐霉性较差，适用于滴浸
	环氧聚酯酚醛无溶剂漆 5152-2		粘度低、储存稳定性好、击穿强度高，用于B级绝缘的直流电机电枢和低压电动机
F	环氧聚酯无溶剂漆 EIU		粘度低、击穿强度高、储存稳定性较好，用于F级绝缘的中小型电动机
	不饱和聚酯无溶剂漆 319-2		粘度较低，电气性能较好，储存稳定性较好，用于F级绝缘定子绕组
H	有机硅浸漆 1053	二甲苯	耐热性和电气性能好，但烘干温度较高，供浸渍H级电动机电器线圈和绝缘部件
	低温干燥有机硅漆 9111	甲苯	耐热性较1053稍差，但烘干温度低，干燥快，用途同1053

因为浸渍的绝缘漆要求必须渗透到绕组线圈以及绝缘材料的所有空隙中，并填满这些空隙。所以要求绝缘漆具有粘度小，流动性好，渗透力强，含固体成分高，且吸潮性小等特点。

为了保证浸漆质量，在浸漆时对绝缘漆的粘度要进行测试，达到一定要求。比如，采用 1032#绝缘漆时，在室温 20℃时用 4 号粘度计，粘度要在 18～22S 内，见表 6-17。粘度过高，要加用稀积剂溶剂进行调整。

表 6-17　1032 绝缘漆粘度-温度对照表（用 4 号粘度计）

温度/℃	40	35	30	25	20	15	10	5	0
第一次浸渍时的粘度/S	16	16.2	17.6	18.4	20	24	27	33	36.5
第二次浸渍时的粘度/S	19.5	21.5	24	27.5	30	36.5	43.5	53.5	63

二、浸漆和烘干方法

1. 浸漆方法

（1）浇漆　当采用快干无溶剂漆，如环氧聚酯快干无溶剂漆 1034。可将电动机竖直放在滴漆盘上，用漆壶浇绕组一端，然后经 20～30min 滴漆，再将电动机翻过来浇绕组的另一端，直到浇透。

（2）浸漆　把所要浸漆的电动机吊入漆罐中，并使漆面没过电动机约 200mm 以上，以便绝缘漆渗透到绝缘所有空隙中填满。

（3）真空浸漆　采用真空浸漆，漆能完全渗透到绝缘的毛细孔深处，浸漆透彻，且烘干时间短。

2. 烘干方法

（1）烘干房或烘干箱烘干　由耐火砖砌成的烘干房，内有耐热保温材料，靠墙处有电热元件。并配有温度控制装置和通风装置。

（2）绕组中通入电流加热法　用交（或直）流电焊机或调压器作为电压可调的电源接到定子绕组上，通到绕组中的电流约为额定电流的 70%，若无调压设备，可把三相绕组串联后接到单相 220V 电源上，线路串一变阻器调节电流大小，其接线图如图 6-12 所示。

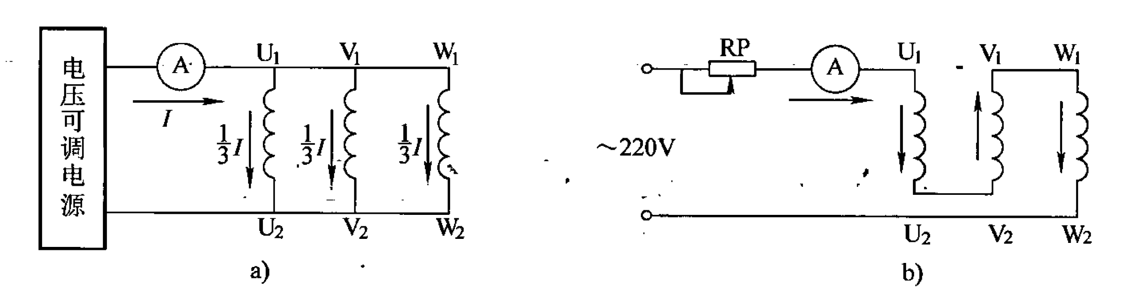


图 6-12　三相绕组通电流加热法

烘干时，必须监视绕组温度，若温度超出允许范围，应立即断开电源，到温度下降到允许范围内时，再通电并应减小电流。同时不断测量绕组的绝缘电阻，符合要求后就停止烘干过程。

(3) 利用大功率白炽灯泡烘干　将一只或数只大功率灯泡吊在定子铁心膛内，注意不能接触绕组，以防止温度过高而损坏绕组。烘干时在电动机上面盖上木板以防止热量散失，并要注意防火。

三、浸漆烘干工艺

典型的浸漆烘干工艺如下所示：

预烘→第一次浸漆→滴漆→第一次烘干→第二次浸漆→第二次滴漆→第二次烘干。

以 JO_2 系列及Y系列电动机绕组浸渍 1032 绝缘漆为例，其浸漆工艺见表 6-18。

表 6-18　定子绕组浸 1032 漆浸烘工艺

<table>
<tr><th>序　号</th><th colspan="2">工　序</th><th>电动机中心高/mm</th><th>烘干温度/℃</th><th>干燥时间/h</th><th>绝缘电阻/MΩ</th><th>备　注</th></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="2">预烘</td><td>H≤160
H≥180</td><td>120 ±5</td><td>4 ~ 8</td><td>>50
>15</td><td>大功率电动机干燥时间稍长</td></tr>
<tr><td>2</td><td colspan="2">第一次浸漆</td><td>—</td><td>60 ~ 80</td><td>>15min</td><td>—</td><td>浸漆粘度为 4#杯 18 ~22s，不冒泡为止</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">滴干</td><td>—</td><td>室温</td><td>>30min</td><td>—</td><td>不滴漆为止</td></tr>
<tr><td rowspan="2">4</td><td rowspan="2">第一次烘干</td><td>挥发</td><td>—</td><td>85 ±5</td><td>1 ~ 2</td><td>—</td><td>浸漆后 1 ~ 2h 内进入烘干阶段</td></tr>
<tr><td>固化</td><td>H≤160
H≥180</td><td>升温至
130 ±5</td><td>4 ~ 8
8 ~ 16</td><td>>10
>2</td><td>浸漆粘度为 4#杯 35 ~ 40s，浸透不冒泡为止</td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="2">第二次浸漆</td><td>—</td><td>60 ~ 80</td><td>10 ~ 15min</td><td>—</td><td>不滴漆为止</td></tr>
<tr><td>6</td><td colspan="2">滴干</td><td>—</td><td>室温</td><td>>30min</td><td>—</td><td rowspan="3">浸漆后 1 ~ 2h 内进入烘干到不粘手为止</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7</td><td rowspan="2">第二次烘干</td><td>挥发</td><td>—</td><td>85 ±5</td><td>1 ~ 2</td><td>—</td></tr>
<tr><td>固化</td><td>H≤160
H≥180</td><td>130 ±5</td><td>6 ~ 10
10 ~ 16</td><td>>5</td></tr>
</table>

第八节　电动机绕组的检查试验

为了保证电动机的运行质量，对经过改造、重绕、浸漆后的绕组必须进行检查和试验。本节主要对需要检查和试验的每个项目要求和方法介绍一下。

一、外观检查

1. 嵌放接线后的检查

当绕组嵌放和接线完后，从外观上应检查以下几个方面：绕组端部长度是否一致和整齐；整形后的喇叭口是否符合要求，其内圆比定子内圆大，绕组与机壳之间保持一定的绝缘距离；插入槽口的槽楔是否松动，有无高出槽口部分；槽绝缘应无破裂；端部相间绝缘位置是否正确，面积足够，且无松动、凸出等现象；导线应无折痕，漆膜无刮伤脱落；接线处是否包扎好绝缘等。

2. 浸漆后检查

电动机绕组浸漆烘干处理后，主要检查浸漆是否饱满，有无遗漏之处；表面漆膜应均匀光亮不粘手；残留在铁心内表面上的余漆应铲除干净等。

二、绝缘电阻的测量

电动机的绝缘电阻主要包括每相绕组对铁心之间的电阻（对地绝缘电阻）和三相绕组之间的电阻（相间绝缘电阻）。对500V及以下的异步电动机，浸漆前，定子绕组的绝缘电阻不小于0.5MΩ；浸漆后的冷态情况绝缘电阻大于5MΩ。1000V以上的电动机，绕组绝缘电阻一般不低于MΩ/kV。

检查绝缘电阻一般用绝缘电阻表（俗称兆欧表、摇表）测量。额定电压500V以下的电动机，用500V兆欧表；500~3000V电动机，用1000V兆欧表；3000V以上的电动机，用2500V兆欧表。

摇测时，兆欧表摇动的转速要求120r/min，且均匀稳定待指针指示稳定后读取测量数值。

三、绕组直流电阻的测量

通过三相绕组的直流电阻测定值大小和平衡度，可以判断嵌放的绕组匝数、线径和接线及焊接情况是否正确与良好。

要求三相直流电阻的差异应满足下面的关系：

$$\frac{R_{最大}-R_{最小}}{R_{平均值}}<5\% \tag{6-31}$$

式中，$R_{平均值}=\dfrac{R_U+R_V+R_W}{3}$（欧姆）。

测量方法：

1. 直流电桥法

用直流电桥直接测量各相绕组的直流电阻，用单臂电桥测1~$10^6\Omega$的绕组电阻；用双臂电桥测1Ω以下的低值电阻。

2. 用直流电压、电流法

实验接线图如图6-13所示。

用测得的直流电压和电流值（U和I）可计算出每相电阻（Ω），即：

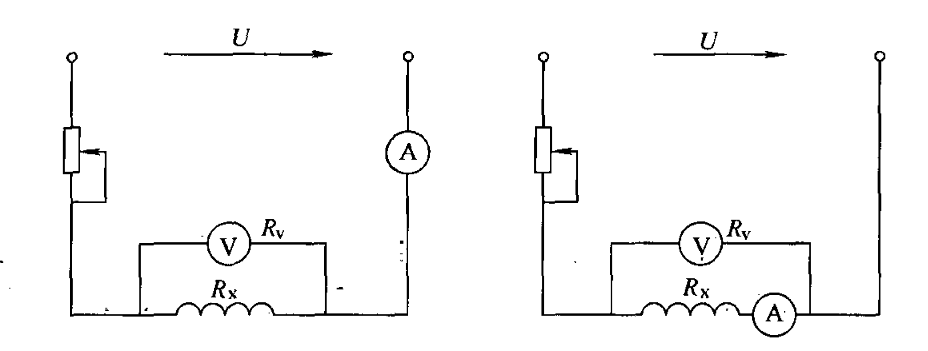


图 6-13　直流电压、电流法测绕组电阻

$$R_x = \frac{U}{I} \tag{6-32}$$

式中，U 为电压表的测量值（V）；I 为电流表的测量值（A）。

测量时，电流表的读数不应大于被测绕组额定电流的 20%。

四、耐压实验

在绕组与铁心之间及每相绕组之间做交流耐压试验是保证绕组绝缘可靠性的重要措施。在线圈包扎、嵌放、接线、总装等过程中都有可能损伤绝缘。因此，在进行上述各工序后，均需进行耐压试验。如绝缘被高压击穿，可及时进行修补，避免更大的返工。

不同的耐压标准参见表 6-19。表中所列的耐压值，除装配后的试验必须符合国家标准外，其余试验视具体情况而定。

表 6-19　电动机重换绕组时交流耐压标准

试验工序	电动机额定电压 U_N/V			耐压时间
	<500	<3300	3300~6600	
嵌线前	—	$2.75U_N+4500$	$2.75U_N+4500$	1~2s
嵌线后	$2U_N+2500$	$2.5U_N+2500$	$2.5U_N+2500$	
嵌线后	$2U_N+2000$	$2.25U_N+2000$	$2.25U_N+2000$	
装配后	$2U_N+1000$ (>1500)	U_N+1000	$2.5U_N$	1min

对 380V 的电动机中间也可不做耐压试验。装配后的耐压试验也可用 2500V 兆欧表摇测 1min 代替。

做实验的调压变压器和高压试验变压器应有足够的容量，对于低压电动机绕组而言，每 1kV 试验电压，变压器的容量不宜小于 1kVA。

在耐压实验中一定要注意安全，高压变压器及调压变压器的外壳一定可靠接地。

五、匝间绝缘试验

匝间绝缘试验的目的是检查绕组间的绝缘，可以考察出在嵌线浸漆、装配及搬运时绕组绝缘是否受到损伤。

试验是在电动机空载时进行。试验时外加电压为额定电压的 130%，试验时间为 3min。若在 130% 额定电压下，电动机的空载电流超过额定电流，则试验时间可缩短至 1min。

试验时，先施加额定电压，如果电动机情况正常，则继续提高电压到 130% 额定电压。若试验时发生异常现象，要立即断开电源。损坏处将会过热、变色、流胶、焦味、冒烟。根据这些现象判断查找故障部位。

试验需要一个电压可调节的交流电源，如可调变压器。对于多绕组的多速电动机，对每一额定转速的绕组都要进行试验。若是单一绕组的多速电动机，可仅对其最大转速接线方式进行试验。对绕线式三相异步电动机（大型 2 极 4 极电动机除外），试验应在转子开路及静止时进行。其他电动机试验可在空载运转状态下进行。

六、空载试验

空载试验的主要目的有两个：一是检查电动机装配后的转动情况，比如：转动是否平稳、轻快、声音应均匀而不含有害的杂声；定、转子是否相擦，轴承转动是否良好等。二是测量电动机空载电流的大小是否在规定范围内，以及三相电流是否平衡。

表 6-20 是三相异步电动机空载电流与额定电流百分比值范围，试验中测得的空载电流超出表中范围过多则说明电动机有问题，需查明原因，并作出处理。

表 6-20　三相异步电动机空载电流与额定电流百分比值的范围

极数 \ 功率/kW	0.125 以下	0.125～0.5	0.55～2	2.2～10	11～50	55～100
2	75～95	45～70	40～55	30～45	25～35	18～30
4	80～96	65～85	45～60	35～55	25～40	20～30
6	85～98	70～90	50～65	35～65	30～45	22～33
8	90～98	75～90	50～70	37～70	35～50	25～35

此外，通过测量三相空载电流，检查三相电流是否平衡，任一相空载电流与三相空载电流平均值的偏差不应超过 10%，即应满足下式：

$$\left|\frac{I_{01}-I_{0平均}}{I_{0平均}}\right| \times 100\% \leqslant 10\%$$

$$\left|\frac{I_{02}-I_{0平均}}{I_{0平均}}\right| \times 100\% \leqslant 10\%$$

$$\left|\frac{I_{03}-I_{0平均}}{I_{0平均}}\right|\times 100\%\leqslant 10\%$$

式中，$I_{0平均}=\frac{1}{3}$（$I_{01}+I_{02}+I_{03}$）为三相电流平均值（A）；I_{01}、I_{02}、I_{03}分别为各相的空载电流（A）。

公式中的竖线表示计算后取绝对值，即不考虑负值，总按正值考虑。若任一相的空载电流超过平均值的 20%，则说明绕组出现匝间短路或轻微接地故障。空载试验要求三相施加额定频率且三相平衡的额定电压。空载运转时间一般在 0.5～1h，功率大的电动机时间长一些。

附　　录

附录A　常用中小型电动机铁心、绕组及绕线槽尺寸数据

表 A-1　Y系列三相异步电动机铁心及绕组技术数据（统一设计）

型号	功率/kW	定子 铁心长度 /mm	气隙长度 /mm	外径 /mm	内径 /mm	并联支路数	每槽线数	绕组形式	线规 根数	线规 直径/mm	节距	定/转子槽数	电压/V	额定电流/A	空载电流/A	线重/(kg/台)
2极																
Y-801-2	0.75	65	0.30	120	67	1	111	单层交叉式	1	0.63	2(1—9)	18/16	380Y	1.71	0.65	1.30
Y-802-2	1.1	80	0.30				90			0.71	1(1—8)	18/16		2.41	0.82	1.45
Y-90S-2	1.5	80	0.35	130	72		77			0.80	2(1—9)	18/16		3.33	1.24	1.60
Y-90L-2	2.2	110					58			0.95	1(1—8)			4.66	1.60	1.90
Y-100L-2	3	100	0.40	155	84		40	单层同心式		1.18	1—12 2—11	24/20		6.12	2.2	2.80
Y-112M-2	4	105	0.45	175	98		48			1.03	1—16 2—15 3—14 1—14 2—13	30/26	380△	7.99	2.70	3.70
Y-132S-2	5.5		0.55	210	116		44			0.90 0.95				10.76	3.0	5.70
Y-132M-2	7.5	125		210	116		37			1.00 1.06				14.32	3.5	6.30
Y-160M1-2	11		0.65	260	150		28		2 1	1.18 1.25				21.24	6.0	11.20

（续）

型号	功率/kW	定子 铁心长度/mm	气隙长度/mm	外径/mm	内径/mm	并联支路数	每槽线数	绕组形式	线规 根数	线规 直径/mm	节距	定/转子槽数	电压/V	额定电流/A	空载电流/A	线重/(kg/台)
Y-160M2-2	15	155	0.65	260	150	1	23	单层同心式	2 2	1.12 1.18	1—16 2—15 3—14 1—14 2—13	30/26	380△	28.28	7.1	12
Y-160L-2	18.5	195		260	150		19		3 2	1.12 1.18				34.29	8.0	13.3
Y-180M-2	22	175	0.8	290	160		16	双层叠绕	2 2	1.30 1.40	1—14	36/28		41.8	12.3	14.65
Y-200L1-2	30	180	1.0	327	182	2	28		2 2	1.12 1.18				56.5	15.9	20.2
Y-200L2-2	37	210		327	182		24		1 2	1.40 1.50				68.8	18.7	22.4
Y-225M-2	45		1.1	368	210		21		1 3	1.40 1.50				83.7	24.3	28.8
Y-250M-2	55	195	1.2	400	225		20		6	1.40				102.8	29.9	37.6
Y-280S-2	75	225	1.5	445	225		14		7	1.50	1—16	42/34		139.2	38.5	45.6
Y-280M-2	90	260					12		8	1.50				165.8	46.4	47
4 极																
Y-801-4	0.55	65	0.25	120	75	1	128	链式	1	0.59	1—6	24/22	380Y	1.46	0.76	1.15
Y-802-4	0.75	80		120	75		103			0.63				1.93	0.97	1.30
Y-90S-4	1.1	90		130	80		81			0.71				2.7	1.30	1.40
Y-90L-4	1.5	120					63			0.80				3.55	1.60	1.60
Y-100L1-4	2.2	105	0.30	155	98		41	单层交叉式	2	0.71	2(1—9) 1(1—8)	36/32		4.87	2.1	2.5
Y-100L2-4	3	135		155	98		31		1	1.18				6.6	3.0	2.9

（续）

型号	功率/kW	定子 铁心长度 /mm	气隙长度 /mm	外径 /mm	内径 /mm	并联支路数	每槽线数	绕组形式	线规 根数	线规 直径/mm	节距	定/转子槽数	电压/V	额定电流/A	空载电流/A	线重/(kg/台)
Y-112M-4	4	135	0.30	175	110 136	1	46	单层交叉式	1	1.06	2(1—9) 1(1—8)	36/32	380△	8.56	3.8	3.7
Y-132S-4	5.5	115	0.4	210			47		1 1	0.90 0.95				11.26	4.2	5.7
Y-132M-4	7.5	160					35		2	1.06				15	5.4	6.5
Y-160M-4	11	155	0.5	260	170	2	56		1	1.3		36/26		22.07	7.6	8.4
Y-160L-4	15	195		260		1	22		2 1	1.25 1.18				29.9	10	9.9
Y-180M-4	18.5	190	0.55	290	187	2	32	双层叠绕	2	1.18	1—11	48/4		36	13.5	12.5
Y-180L-4	22	220		290	187		28			1.3				42.3	15.2	14.2
Y-200L-4	30	230	0.65	327	210	4	48		1 1	1.06 1.12				56.9	19.4	18.4
Y-225S-4	37	200	0.7	368	245		46		2	1.25	1—12			69.4	21.3	24.1
Y-225M-4	45	235		368	245		40		1 1	1.30 1.40				83.4	23.6	26.3
Y-250M-4	55	240	0.8	400	260		36		3	1.3				101.7	29.2	34.6
Y-280S-4	75		0.9	445	300		26		2 2	1.25 1.30	1—14	60/50		137.5	38.8	42.1
Y-280M-4	90	325	0.9	445	300		20		5	1.30				163.7	47.1	48.4

（续）

型号	功率/kW	定子							线规		节距	定/转子槽数	电压/V	额定电流/A	空载电流/A	线重/(kg/台)
		铁心长度	气隙长度	外径	内径	并联支路数	每槽线数	绕组形式	根数	直径/mm						
		/mm														
6极																
Y-90S-6	0.75	100	0.25	130	86	1	77	单层链式	1	0.67	1—6	36/33	380Y	2.13	1.30	1.7
Y-90L-6	1.1	120					63			0.75				2.97	1.60	1.9
Y-100L-6	1.5	100		155	106		53			0.85				3.83	2.10	2.0
Y-112L-6	2.2	110	0.30	175	120		44			1.06				5.44	2.90	2.8
Y-132S-6	3	140	0.35	210	148		38			0.85 0.90				6.99	3.50	3.5
Y-132M1-6	4				148		52			1.06				9.12	4.4	4.0
Y-132M2-6	5.5	180	0.35	210	148		42			1.25			380△	12.04	5.1	5.2
Y-160M-6	7.5	145	0.40	260	180		38		2	1.12				16.35	7.3	7.1
Y-160L-6	11	195					28		4	0.95				23.7	10.1	8.9
Y-180L-6	15	200	0.45	290	205	2	34	双层叠绕	1	1.50	1—9	54/44		31	13.3	11.1
Y-200L1-6	18.5	190	0.50	327	230		32		1 1	1.12 1.18				37.5	14.8	12.3
Y-200L2-6	22	220	0.50	327	230		28		2	1.25				44	16.6	13.8
Y-225M-6	30	200		368	260				2 1	1.30 1.40				58	17.8	23.8
Y-225M-6	37	225	0.55	400	285	3			1 2	1.12 1.18	1—12	72/58		69.3	19.4	27.2
Y-280S-6	45	215	0.65	445	325		26		2 1	1.30 1.40				84.2	22.8	34.4
Y-280M-6	55	260		445			22		1 2	1.40 1.50				102	26.2	38.6

（续）

型号	功率/kW	定子									节距	定/转子槽数	电压/V	额定电流/A	空载电流/A	线重/(kg/台)
		铁心长度	气隙长度	外径	内径	并联支路数	每槽线数	绕组形式	线规							
		/mm							根数	直径/mm						
								8极								
Y-132S-8	2.2	110	0.35	210	148	1	39	单层链式	1	1.12	1—6	48/44	380Y	5.77	3.4	4.0
Y-132M-8	3	140					31			1.30				7.56	4.2	4.4
Y-160M1-8	4	110	0.40	260	180		51			1.25			380△	9.68	5.3	6.3
Y-160M2-8	5.5	145					39		2	1.0				13	6.9	7.2
Y-160L-8	7.5	195					30		1 1	1.12 1.18				17.2	8.5	8.7
Y-180L-8	11	200	0.45	290	205	2	46	双层叠绕	2	0.9	1—7	54/58		24.4	12.2	9.9
Y-200L-8	15	190	0.50	327	230		40		1	1.5				32.9	16	11.9
Y-225S-8	18.5	165		368	260				2	1.4				39.7	18.2	20.8
Y-225M-8	22	200					34			1.5				46.4	20.2	21.9
Y-250M-8	30	225	0.55	400	285		22		3	1.3	1—9	72/58		61.6	25.7	23.9
Y-280S-8	37	215	0.65	445	325	4	40		2					76.1	32.1	29.5
Y-280M-8	45	260					34		1 1	1.4 1.5				90.8	35.8	24.7

表 A-2 YR(IP44)系列铁心及绕组技术数据

型号	功率/kW	铁心长度/mm	气隙长度/mm	外径/mm	内径/mm	定子 槽数	定子 每槽线数	定子 线规 根数	定子 线规 直径/mm	定子 绕组形式	定子 节距	定子 并联支路数	定子 平均半匝长/mm	转子 槽数	转子 每槽线数	转子 线规 根数	转子 线规 直径/mm 或(长/mm)×宽(/mm)	转子 平均半匝长/mm	转子 相电阻/Ω	转子 节距	转子 并联支路数
4极																					
YR132M1-4	4	115	0.4	210	136	36	102	1	0.8	双层叠绕	1—9	2	280	24	28	3	1.03	237	0.435	1—6	1
YR132M2-4	5.5	155					74		0.95				320		24	2 1	1.12 1.18	297	0.376		
YR160M-4	7.5	130	0.5	260	170		74		1.12				321		44	2 1	1.00 1.06	262	0.204		2
YR160L-4	11	185					52	2	0.95				376		34	3	1.18	317	0.143		
YR180L-4	15	205	0.55	290	187	48	32		1.06		1—11		403	36	18	3	1.30	369	0.109	1—9	
YR200L1-4	18.5	175		327	210		64	1	1.18			4	395		16	4	1.40	355	0.0601		
YR200L1-4	18.5						64						395		8	1	2×5.6	412	0.078		1
YR200L2-4	22	205					54		1.30				425		16	4	1.40	385	0.0652		2
YR200L2-4	22						54						425		8	1	2.24×5.6	442	0.0837		1
YR225M-4	30	215	0.7	368	245		22	3	1.25			2	458		16	6	1.25	416	0.0588		2
YR225M-4	30						22						458		8	1	2.5×5.6	477	0.0735		1
YR250M1-4	37	220	0.8	400	260		40	2			1—12	4	506		12	8	1.40	437	0.0277		2
YR250M1-4	37						40						506		6	2	2×5.6	501	0.0356		1
YR250M2-4	45	260					34	3	1.12				546		12	8	1.40	477	0.0308		2
YR250M2-4	45						34						546		6	2	2×5.6	541	0.0384		1
YR280S-4	55	240	0.9	445	300	60	26	2	1.50		1—14		544	48	12	7	1.40	499	0.0482	1—12	2
YR280S-4	55						26	2	1.50				544	48	6	2	2×5	562	0.0598		1
YR280M-4	75	340					18	1 2	1.40 1.50				644	48	12	7	1.40	599	0.0145		4
YR280M-4	75						18	1 2	1.40 1.50				644	48	6	2	2×5	662	0.0176		2

（续）

型号	功率/kW	铁心长度	气隙长度	外径	内径	定子 槽数	定子 每槽线数	定子 线规 根数	定子 线规 直径/mm	绕组形式	节距	并联支路数	平均半匝长/mm	转子 槽数	转子 每槽线数	转子 线规 根数	转子 线规 直径/mm 或（长/mm）×宽（/mm）	平均半匝长/mm	相电阻/Ω	节距	并联支路数
		/mm																			
6 极																					
YR132M1-6	3	125	0.35	210	148	48	40	1	1.00	双层叠绕	1—8	1	248	36	20	3	1.00	223	0.493	1—6	1
YR132M2-6	4	165					70		0.80			2	288	36	34	2	0.95	263	0.411		2
YR160M-6	5.5	140	0.4	260	180		66		1.00				278	36	34	2	1.06	245	0.307		
YR160L-6	7.5	185					50		1.18				323	36	28	2	1.13	290	0.242		
YR180L-6	11	205	0.45	290	205	54	38		1.25		1—9		366	36	28	4	1.00	329	0.191		
YR200L-6	15	190		327	230		34		1.06 1.12				365	36	16	2 4	1.18 1.25	325	0.0476		
YR200L-6	15						34		1.06 1.12				365	36	8	1	2.24×5.6	388	0.0671		1
YR225M1-6	18.5	160	0.5	368	260		36		1.18 1.25				351	36	16	8	1.25	325	0.0323		2
YR225M1-6	18.5						36		1.18 1.25				351	36	8	1	2.8×6.3	371	0.0451		1
YR225M2-6	22	190		368	260		30		1.30 1.40				381	36	16	8	1.25	335	0.0355		2
YR225M2-6									1.30 1.40						8	1	2.8×6.3	401	0.0487		1
YR250M1-6	30	230	0.55	400	285	72	18	3 1	1.12 1.18		1—12		453	48	12	7	1.40	407	0.0394	1—8	2
YR250M1-6								3 1	1.12 1.18						6	2	2.24×5	476	0.046		1
YR250M2-6	37	260	0.55	400	285	72	16	3	1.40				483		12	5 3	1.30 1.40	437	0.041		2
YR250M2-6								3	1.40						6	2	2.24×5	506	0.049		1
YR280S-6	45	250	0.65	445	325	72	14	3 1	1.40 1.50				493		12	3 6	1.30 1.40	448	0.0353		2

（续）

型号	功率/kW	铁心长度/mm	气隙长度/mm	外径/mm	内径/mm	定子 槽数	定子 每槽线数	定子 线规 根数	定子 线规 直径/mm	定子 绕组形式	定子 节距	定子 并联支路数	定子 平均半匝长/mm	转子 槽数	转子 每槽线数	转子 线规 根数	转子 线规 直径/mm 或（长/mm）×宽（/mm）	转子 平均半匝长/mm	转子 相电阻/Ω	转子 节距	转子 并联支路数
YR280S-6	45	250	0.65	445	325	72	14	3 1	1.40 1.50	双层叠绕	1—12	2	493	48	6	2	2.5×5.6	514	0.040	1—8	1
YR280M-6	55	290	0.65	445	325	72	12	3 1	1.50 1.60				533		12	9	1.40	499	0.038		2
YR280M-6								3 1	1.50 1.60						6	2	2.5×5.6	554	0.043		1
8 极																					
YR160M-8	4	140	0.4	260	180	48	92	1	0.9	双层叠绕	1—6	2	247	36	42	2	0.95	230	0.443	1—5	2
YR160L-8	5.5	185					70		1.0			2	292		34	2	1.06	275	0.345		
YR180L-8	7.5	180	0.45	290	205	54	28		1.06 1.12		1—7	1	310		34	1 1	1.25 1.30	287	0.249		
YR200L-8	11	190	0.5	327	230	54	44	2	0.95			2	332		16	2 4	1.18 1.25	313	0.046		
YR200L-8	11								0.95			2	332		8	1	2.2×5.6	373	0.064		1
YR225M1-8	15	190	0.5	368	260		40		1.12			2	344		16	8	1.25	314	0.0333		2
YR225M1-8	15														8	1	2.8×6.3	381	0.0463		1
YR225M2-8	18.5	235					32		1.30				389		16	8	1.25	359	0.0381		2
YR225M2-8	18.5														8	1	2.8×6.3	426	0.0518		1
YR250M1-8	22	230	0.55	400	285	72	48	1	1.40		1—9	4	406	48	12	7	1.40	370	0.0358	1—6	2

（续）

型号	功率/kW	铁心长度/mm	气隙长度/mm	外径/mm	内径/mm	定子 槽数	定子 每槽线数	定子 线规 根数	定子 线规 直径/mm	定子 绕组形式	定子 节距	定子 并联支路数	定子 平均半匝长/mm	转子 槽数	转子 每槽线数	转子 线规 根数	转子 线规 直径/mm 或 (长/mm)×宽(/mm)	转子 平均半匝长/mm	转子 相电阻/Ω	转子 节距	转子 并联支路数
8 极																					
YR250M1-8	22	230	0.55	400	285	72	48	1	1.40	双层叠绕	1—9	4	406	48	6	2	2.24×5	443	0.043	1—6	1
YR250M2-8	30	280					74		1.12			8	456		12	7	1.40	430	0.041		2
YR250M2-8	30														6	2	2.24×5	493	0.047		1
YR280S-8	37	250	0.65	445	325		36	3	1.00			4	440		12	9	1.40	414	0.031		2
YR280S-8	37														6	2	2.5×5.6	476	0.037		1
YR280M-8	45	340					28	2	1.40				530		12	3 6	1.30 1.40	494	0.039		2
YR280M-8	45														6	2	2.5×5.6	566	0.044		1

表 A-3　YR(IP23)系列铁心及绕组技术数据

型号	功率/kW	铁心长度	气隙长度	外径	内径	定子								转子							
		/mm				槽数	每槽线数	线规 根数	线规 直径/mm	绕组形式	节距	并联支路数	平均半匝长/mm	槽数	每槽线数	线规 根数	线规 直径/mm 或(长/mm)×宽(/mm)	平均半匝长/mm	相电阻/Ω	节距	并联支路数
4 极																					
YR160M-4	7.5	85					34	1	1.50	双层叠绕		1	283		18	3	1.12	245	0.389		
YR160L1-4	11	115		290	187		50	2	0.85				313		14	4	1.12	275	0.255		
YR160L2-4	15	150	0.55				38	2	1.00			2	348		10	3 1	1.30 1.40	310	0.146		
YR180M-4	18.5	135		327	210		40	2	1.12		1—11		354		8	1	1.8×5	373	0.088		
YR180L-4	22	155				48	34	1 1	1.18 1.25				374	36			1.8×5	393	0.093	1—9	
YR200M-4	30	140	0.7	368	245		62	2	0.95			4	383				2×5.6	401	0.076		
YR200L-4	37	175					50	2	1.00				418				2×5.6	436	0.083		
YR225M1-4	45	155	0.8	400	260		24	1 3	1.12 1.18		1—12	2	440		6	2	1.8×4.5	439	0.043		
YR225M2-4	55	185					40	1 1	1.25 1.30			4	470				1.8×4.5	469	0.046		
YR250S-4	75	185	0.9	445	300	60	14	2 3	1.25 1.30		1—14	2	489	48			1.6×4.5	504	0.075	1—12	
YR250M-4	90	215					12	4 2	1.25 1.30				519				1.6×4.5	534	0.0795		
YR280S-4	110	200	1.0	493	330		24	4	1.25			4	533		4		2.24×6.3	557	0.028		
YR280M-4	132	240					20	4	1.40				573				2.24×6.3	597	0.0304		

（续）

型号	功率/kW	铁心长度	气隙长度	外径	内径	定子 槽数	定子 每槽线数	定子 线规 根数	定子 线规 直径/mm	定子 绕组形式	定子 节距	定子 并联支路数	定子 平均半匝长/mm	转子 槽数	转子 每槽线数	转子 线规 根数	转子 线规 直径/mm或(长/mm)×宽(/mm)	转子 平均半匝长/mm	转子 相电阻/Ω	转子 节距	转子 并联支路数
		/mm																			
6极																					
YR160M-6	5.5	95	0.45	290	205	54	36	2	0.95	双层叠绕	1—9	1	256	36	24	1 1	1.18 1.25	217	0.584	1—6	1
YR160L-6	7.5	115					58	1	1.06			2	276		18	3	1.12	237	0.376		
YR180M-6	11	125		327	230		46	1	1.40				300		8	1	1.8×4	325	0.097		
YR180L-6	15	155					36	2	1.06				330				1.8×4	355	0.106		
YR200M-6	18.5	135	0.50	368	260		36	2	1.18				326				1.8×5	346	0.0821		
YR200L-6	22	165					30	1 1	1.30 1.40				356				1.8×5	376	0.0892		
YR225M$_1$-6	30	145	0.55	400	285	72	38	2	1.12	双层绕组	1—12	3	368	54	6	2	1.6×4.5	390	0.065	1—9	
YR225M$_2$-6	37	175					30	1 1	1.18 1.25				398				1.6×4.5	420	0.0704		
YR250S-6	45	165	0.65	445	325		28	2	1.40				408				1.8×4.5	428	0.064		
YR250M-6	55	195					24	4	1.06				438				1.8×4.5	458	0.068		
YR280S-6	75	185	0.7	493	360		22	3	1.40				448				2×5	474	0.057		
YR280M-6	90	240					18	3	1.50				503				2×5	529	0.0633		

（续）

型号	功率/kW	铁心长度/mm	气隙长度/mm	外径/mm	内径/mm	定子 槽数	定子 每槽线数	定子 线规 根数	定子 线规 直径/mm	定子 绕组形式	定子 节距	定子 并联支路数	定子 平均半匝长/mm	转子 槽数	转子 每槽线数	转子 线规 根数	转子 线规 直径/mm 或 (长/mm)×宽(/mm)	转子 平均半匝长/mm	转子 相电阻/Ω	转子 节距	转子 并联支路数
8 极																					
YR160M-8	4	95	0.45	290	205	54	48	1	1.18	双层叠绕	1—7	1	226	36	30	1 1	1.06 1.12	201	0.839	1—5	1
YR160L-8	5	115					38	2	0.95				246		22	2	1.25	221	0.515		
YR180M-8	7.5	125		327	230		64	1	1.18			2	267		8	1	1.8×4	307	0.092		
YR180L-8	11	155					48	1	1.30				297			1	1.8×4	337	0.1		
YR300M-8	15	135	0.50	368	260		44	1	1.60				288			1	1.8×5	326	0.0773		
YR200L-8	18.5	165					36	2	1.25				318			1	1.8×5	356	0.084		
YR225M1-8	22	145	0.55	400	285	72	62	1	1.25		1—9	4	321	48	6	2	1.6×4.5	352	0.0523	1—6	
YR225M2-8	30	200					46	2	1.00				376			2	1.6×4.5	406	0.0605		
YR225M2-8	30	175					50	1	1.40				351			2	1.6×4.5	382	0.057		
YR250S-8	37	165	0.65	445	325		46	1 1	1.06 1.12				355			2	1.8×4.5	385	0.051		
YR250M-8	45	195					38	1 1	1.18 1.25				385			2	1.8×4.5	415	0.055		
YR280S-8	55	185	0.70	493	360		36	1 1	1.30 1.40				390			2	2×5	426	0.045		
YR280M-8	75	240					28	1 1	1.50 1.60				445			2	2×5	481	0.0511		

表 A-4　YD 系列变极多速三相异步电动机铁心及绕组技术数据(380V、50Hz)

型号	极数	额定功率/kW	连接方式	满载时转速/(r/min)	满载时电流/A	满载时效率(%)	满载时功率因数	定子铁心外径/mm	定子铁心内径/mm	定子铁心长度/mm	定/转子槽数	绕组形式	节距	每槽线数	线规/mm
YD801-4/2	4	0.45	△	1420	1.4	66	0.74	120	75	65	24/22	双层叠式	1—8 或 1—7	260	1-ϕ0.38
	2	0.55	2Y	2860	1.5	65	0.85								
YD802-4/2	4	0.55	△	1420	1.7	68	0.74	120	75	80			1—8 或 1—7	210	1-ϕ0.42
	2	0.75	2Y	2860	2.0	66	0.85								
YD90S-4/2	4	0.85	△	1430	2.3	74	0.77	130	80	90			1—7	166	1-ϕ0.47
	2	1.1	2Y	2850	2.8	72	0.85								
YD90L-4/2	4	1.3	△	1430	3.3	76	0.78	130	80	120				128	1-ϕ0.56
	2	1.8	2Y	2850	4.3	74	0.85								
YD100L1-4/2	4	2.0	△	1430	4.8	78	0.81	155	98	105	36/32		1—11	80	1-ϕ0.71
	2	2.4	2Y	2850	5.6	76	0.86								
YD100L2-4/2	4	2.4	△	1430	5.6	79	0.83	155	98	135				68	1-ϕ0.77
	2	3.0	2Y	2850	6.7	77	0.89								
YD112M-4/2	4	3.3	△	1450	7.4	82	0.83	175	110	135				56	1-ϕ0.95
	2	4.0	2Y	2890	8.6	79	0.89								
YD132S-4/2	4	4.5	△	1450	9.8	83	0.84	210	136	115				58	1-ϕ1.18
	2	5.5	2Y	2860	11.9	79	0.89								
YD132M-4/2	4	6.5	△	1450	13.8	84	0.85	210	136	160				44	2-ϕ0.95
	2	8.0	2Y	2880	17.1	80	0.89								

（续）

型　号	极数	额定功率/kW	连接方式	满载时定子铁心 转速/(r/min)	电流/A	效率(%)	功率因数	外径/mm	内径/mm	长度/mm	定/转子槽数	绕组形式	节　距	每槽线数	线规/mm
YD160M-4/2	4	9	△	1460	18.5	87	0.85	260	170	155	36/26	双层叠式	1—10	36	1-ϕ1.18/1-ϕ1.12
	2	11	2Y	2920	22.9	82	0.89								
YD100L-4/2	4	11	△	1460	22.3	87	0.86	260	170	195				30	1-ϕ1.30/1-ϕ1.25
	2	14	2Y	2920	28.8	82	0.90								
YD180M-4/2	4	15	△	1470	29.4	89	0.87	290	187	190	48/44		1—13	20	3-ϕ1.25
	2	18.5	2Y	2940	36.7	85	0.90								
YD180L-4/2	4	18.5	△	1470	35.9	89	0.88	290	187	220				18	4-ϕ1.12
	2	22	2Y	2940	42.7	86	0.91								
YD90S-6/4	6	0.65	△	920	2.2	64	0.68	130	86	100	36/33		1—7/1—8	152/146	1-ϕ0.45/1-ϕ0.45
	4	0.85	2Y	1120	2.3	70	0.79								
YD90L-6/4	6	0.85	△	930	2.8	66	0.70	130	86	120				126/116	1-ϕ0.50/1-ϕ0.53
	4	1.1	2Y	1400	3.0	71	0.79								
YD100L1-6/4	6	1.3	△	940	3.8	74	0.70	155	98	115	36/32		1—7	100	1-ϕ0.63
	4	1.8	2Y	1440	4.4	77	0.80								
YD160L2-6/4	6	1.5	△	940	4.3	75	0.70	155	98	135				86	1-ϕ0.69
	4	2.2	2Y	1440	5.4	77	0.80								
YD112M-6/4	6	2.2	△	960	5.7	78	0.75	175	120	135	36/33		1—7/1—8	76/76	1-ϕ0.80/1-ϕ0.80
	4	2.8	2Y	1440	6.7	77	0.82								

（续）

型　号	极数	额定功率 /kW	连接方式	满载时定子铁心							定/转子槽　数	绕组形式	节　距	每槽线数	线规 /mm
				转速 /(r/min)	电流 /A	效率 (%)	功率因数	外径 /mm	内径 /mm	长度 /mm					
YD132S-6/4	6	3.0	△	970	7.7	79	0.75	210	148	125	36/33	双层叠式	1—7/1—8	68/66	1-ϕ1.0/ 1-ϕ0.95
	4	4.0	2Y	1440	9.5	78	0.82								
YD132M-6/4	6	4.0	△	970	9.8	82	0.76	210	148	180				52/48	2-ϕ0.75/ 2-ϕ0.8
	4	5.5	2Y	1440	12.3	80	0.85								
YD160M-6/4	6	6.5	△	970	15.1	84	0.78	260	180	145	36/33			48/46	1-ϕ1.06/1-ϕ1.0
	4	8	2Y	1460	17.4	83	0.84								1-ϕ1.0/1-ϕ1.06
YD160L-6/4	6	9	△	970	20.6	85	0.78	260	180	195				36/34	2-ϕ1.18/ 2-ϕ1.18
	4	11	2Y	1460	23.4	84	0.85								
YD180M-6/4	6	11	△	980	25.9	85	0.76	290	205	200	36/32			32/30	1-ϕ1.25/1-ϕ1.30
	4	14	2Y	1470	29.8	84	0.85								3-ϕ0.95/1-ϕ0.90
YD180L-6/4	6	13	△	980	29.4	86	0.78	290	205	230				28/26	3-ϕ0.95/1-ϕ1.0
	4	16	2Y	1470	33.6	85	0.85								2-ϕ1.18/1-ϕ1.12
YD90L-8/4	8	0.45	△	700	1.9	58	0.63	180	86	120	36/33		1—6	172	1-ϕ0.42
	4	0.75	2Y	1420	1.8	72	0.87								
YD100L-8/4	8	0.85	△	700	3.1	67	0.63	155	106	135				114	1-ϕ0.56
	4	1.5	2Y	1410	3.5	74	0.88								
YD112M-8/4	8	1.5	△	700	5.0	72	0.63	175	120	135				94	1-ϕ0.71
	4	2.4	2Y	1410	5.3	78	0.88								

（续）

型　号	极数	额定功率 /kW	连接方式	满载时定子铁心							定/转子槽　数	绕组形式	节　　距	每槽线数	线规 /mm
				转速 /(r/min)	电流 /A	效率 (%)	功率因数	外径 /mm	内径	长度					
YD132S-8/4	8	2.2	△	720	7.0	75	0.64	210	148	125	36/33	双层叠式	1—6	84	1-ϕ0.85
	4	3.3	2Y	1440	7.1	80	0.88								
YD132M-8/4	8	3.0	△	720	9.0	78	0.65	210	148	180				60	1-ϕ0.67/ 1-ϕ0.71
	4	4.5	2Y	1440	9.4	82	0.89								
YD160M-8/4	8	5.0	△	730	13.9	83	0.66	260	180	145				54	1-ϕ1.40
	4	7.5	2Y	1450	15.2	84	0.89								
YD160L-8/4	8	7	△	730	19	85	0.66	260	180	195	36/33		1—6	40	2-ϕ1.12
	4	11	2Y	1450	21.8	86	0.89								
YD180L-8/4	8	11	△	730	26.7	87	0.72	290	205	260	54/58		1—8	22	2-ϕ1.30
	4	17	2Y	1470	32.6	88	0.91								
YD90S-8/6	8	0.35	△	700	1.6	56	0.60	130	86	100	36/33		1—6	208	1-ϕ0.40
	6	0.45	2Y	930	1.4	70	0.72								
YD90L-8/6	8	0.45	△	700	1.9	59	0.60	130	86	120				170	1-ϕ0.45
	6	0.65	2Y	920	1.9	71	0.73								
YD100L-8/6	8	0.75	△	710	2.9	65	0.60	155	106	135				116	1-ϕ0.53
	6	1.1	2Y	950	3.1	75	0.73								
YD112M-8/6	8	1.3	△	710	4.5	72	0.61	175	120	135				98	1-ϕ0.67
	6	1.8	2Y	950	4.8	78	0.73								

（续）

型号	极数	额定功率 /kW	连接方式	满载时 转速 /(r/min)	满载时 电流 /A	满载时 效率 (%)	满载时 功率因数	定子铁心 外径 /mm	定子铁心 内径 /mm	定子铁心 长度 /mm	定/转子槽数	绕组形式	节距	每槽线数	线规 /mm
YD132S-8/6	8	1.8	△	730	5.8	76	0.62	210	148	110	36/33	双层叠式	1—5	94	1-ϕ0.53/ 1-ϕ0.56
	6	2.4	2Y	970	6.2	80	0.73								
YD132M-8/6	8	2.6	△	730	8.2	78	0.62	210	148	180				62	1-ϕ0.67/ 1-ϕ0.71
	6	3.7	2Y	970	9.4	82	0.73								
YD160M-8/6	8	4.5	△	730	13.3	83	0.62	260	180	145				56	2-ϕ0.95
	6	6	2Y	980	14.7	85	0.73								
YD160L-8/6	8	6	△	730	17.5	84	0.62	260	180	195				42	3-ϕ0.9
	6	8	2Y	980	19.4	86	0.73								
YD180M-8/6	8	7.5	△	730	21.9	84	0.62	290	205	200	36/32			36	2-ϕ1.0/ 1-ϕ0.95
	6	10	2Y	980	24.2	86	0.73								
YD180L-8/6	8	9	△	730	24.7	85	0.65	290	205	230				32	1-ϕ1.30/ 1-ϕ1.25
	6	12	2Y	980	28.3	86	0.75								
YD160M-12/6	12	2.6	△	480	11.6	74	0.46	260	180	145	36/33		1—4	74	1-ϕ0.80/ 1-ϕ0.85
	6	5	2Y	970	11.9	84	0.76								
YD160L-12/6	12	3.7	△	480	16.1	76	0.46	260	180	205				52	1-ϕ1.40
	6	7	2Y	970	15.8	85	0.79								
YD180L-12/6	12	5.5	△	490	19.6	79	0.54	290	205	230	54/58		1—6	32	1-ϕ1.06/ 1-ϕ1.12
	6	10	2Y	980	20.5	86	0.86								

（续）

型号	极数	额定功率/kW	连接方式	满载时转速/(r/min)	满载时电流/A	满载时效率(%)	满载时功率因数	定子铁心外径/mm	定子铁心内径/mm	定子铁心长度/mm	定/转子槽数	绕组形式	节距	每槽线数	线规/mm
YD100L-6/4/2	6	0.75	Y	950	2.6	67	0.65	155	98	135	36/32	单层链式	1—6	54	1-ϕ0.53
	4	1.3	△	1450	3.7	72	0.75					双层叠式	1—10	68	
	2	1.8	2Y	2900	4.5	71	0.85								
YD112M-6/4/2	6	1.1	Y	960	3.5	73	0.65	175	110	135		单层链式	1—6	45	1-ϕ0.67
	4	2.0	△	1450	5.1	73	0.81					双层叠式	1—10	62	1-ϕ0.60
	2	2.4	2Y	2920	5.8	74	0.85								
YD132S-6/4/2	6	1.8	Y	970	5.1	75	0.71	210	136	115		单层链式	1—6	45	1-ϕ0.83
	4	2.6	△	1460	6.1	78	0.83					双层叠式	1—10	64	1-ϕ0.80
	2	3.0	2Y	2910	7.4	71	0.87								
YD132M1-6/4/2	6	2.2	Y	970	6	77	0.72	210	136	140		单层链式	1—6	37	1-ϕ0.90
	4	3.3	△	1460	7.5	80	0.84					双层叠式	1—10	56	1-ϕ0.85
	2	4.0	2Y	2910	8.8	76	0.91								
YD132M2-6/4/2	6	2.6	Y	970	6.9	80	0.72	210	136	180		单层链式	1—6	30	2-ϕ0.75
	4	4.0	△	1460	9	80	0.84					双层叠式	1—10	44	1-ϕ0.90
	2	5.0	2Y	2910	10.8	77	0.91								
YD160M-6/4/2	6	3.7	Y	980	9.5	82	0.72	260	170	155		单层链式	1—6	27	2-ϕ0.90
	4	5.0	△	1470	11.2	81	0.84					双层叠式	1—10	40	2-ϕ0.75
	2	6.0	2Y	2930	13.2	76	0.91								

（续）

型号	极数	额定功率/kW	连接方式	满载时				定子铁心/mm			定/转子槽数	绕组形式	节距	每槽线数	线规/mm
				转速/(r/min)	电流/A	效率(%)	功率因数	外径	内径	长度					
YD160L-6/4/2	6	4.5	Y	980	11.4	83	0.72	260	170	195	36/26	单层链式	1—6	22	3-ϕ0.80
	4	7	△	1470	15.1	83	0.85					双层叠式	1—10	32	1-ϕ1.18
	2	9	2Y	2930	18.8	79	0.92								
YD112M-8/4/2	8	0.65	Y	700	2.7	59	0.63	175	110	135	36/32		1—5	68	1-ϕ0.53
	4	2.0	△	1450	5.1	73	0.81						1—10	62	1-ϕ0.60
	2	2.4	2Y	2920	5.8	74	0.85								
YD132S-8/4/2	8	1.0	Y	720	3.6	69	0.61	210	136	115			1—5	62	1-ϕ0.75
	4	2.0	△	1460	6.1	78	0.83						1—10	64	1-ϕ0.75
	2	3.0	2Y	2910	7.1	74	0.87								
YD132M-8/4/2	8	1.3	Y	720	4.6	71	0.61	210	136	160			1—5	48	1-ϕ0.85
	4	3.7	△	1460	8.4	80	0.84						1—10	48	1-ϕ0.85
	2	4.5	2Y	2910	10	75	0.91								
YD160M-8/4/2	8	2.2	Y	720	7.6	75	0.59	200	170	155	36/26	双层叠式	1—5	36	2-ϕ0.71
	4	5.0	△	1440	11.2	81	0.84						1—10	40	2-ϕ0.75
	2	6.0	2Y	2910	13.2	76	0.91								
YD160L-8/4/2	8	2.8	Y	720	9.2	77	0.60	260	170	195		双层叠式	1—5	30	1-ϕ1.18
	4	7.0	△	1440	15.1	83	0.85						1—10	32	
	2	9.0	2Y	2910	18.8	79	0.92								
YD112M-8/6/4	8	0.85	△	710	3.7	62	0.56	175	120	135	36/33	双层叠式	1—6	100	1-ϕ0.53
	6	1.0	Y	950	3.1	68	0.73					单层链式		46	1-ϕ0.56
	4	1.5	2Y	1440	3.5	75	0.86					双层叠式		100	1-ϕ0.53
YD132S-8/6/4	8	1.1	△	730	4.1	68	0.60	210	148	120		双层叠式		98	1-ϕ0.60
	6	1.5	Y	970	4.2	74	0.73					单层链式		41	1-ϕ0.71
	4	1.8	2Y	1460	4.0	78	0.87					双层叠式		98	1-ϕ0.60

（续）

型号	极数	额定功率/kW	连接方式	满载时 转速/(r/min)	电流/A	效率(%)	功率因数	定子铁心 外径/mm	内径/mm	长度/mm	定/转子槽数	绕组形式	节距	每槽线数	线规/mm
YD132M1-8/6/4	8	1.5	△	730	5.2	71	0.62	210	148	160	36/33	双层叠式	1—6	78	1-ϕ0.67
	6	2.0	Y	970	5.4	77	0.73					单层链式		32	1-ϕ0.85
	4	2.2	2Y	1460	4.9	79	0.87					双层叠式		78	1-ϕ0.67
YD132M2-8/6/4	8	1.8	△	730	6.1	72	0.62	210	148	180		双层叠式		66	1-ϕ0.71
	6	2.6	Y	970	6.8	78	0.74					单层链式		27	1-ϕ0.90
	4	3.0	2Y	1460	6.5	80	0.87					双层叠式		66	1-ϕ0.71
YD160M-8/6/4	8	3.3	△	720	10.2	79	0.62	260	180	145		双层叠式		58	2-ϕ0.75
	6	4.0	Y	960	9.9	81	0.76					单层链式		25	2-ϕ0.75
	4	5.5	2Y	1440	11.6	83	0.87					双层叠式		58	2-ϕ0.75
YD160L-8/6/4	8	4.5	△	720	13.8	80	0.62	260	180	195		双层叠式	1—6	44	2-ϕ0.85
	6	6.0	Y	960	14.5	83	0.76					单层链式	1—6	18	3-ϕ0.80
	4	7.5	2Y	1440	15.6	84	0.87					双层叠式	1—6	44	2-ϕ0.85
YD180L-8/6/4	8	7	△	740	20.2	81	0.65	290	205	260	54/50	双层叠式	1—8	22	2-ϕ1.0
	6	9	Y	980	20.6	83	0.80						1—9	10	2-ϕ1.12
	4	12	2Y	1470	24.1	84	0.90						1—8	22	2-ϕ1.0
YD180L-12/8/6/4	12	3.3	△	480	13	72	0.55	290	205	260	54/50		1—6	36	2-ϕ0.75
	8	5.0	△	740	16	79	0.62						1—8	24	1-ϕ0.80 1-ϕ0.75
	6	6.5	2Y	970	14	82	0.88						1—6	36	2-ϕ0.75
	4	9.0	2Y	1470	19	83	0.89						1—8	24	1-ϕ0.80 1-ϕ0.75

注：表中6/4极的每槽线数和线规分子、分母分别为节距1—7、1—8时的数据。

附录B 单相电动机绕组技术数据表

表 B-1 DO_2 系列单相电容运转电动机技术数据表

电动机型号	额定参数						定子铁心/mm				绕组极数	定/转槽数 Q_1/Q_2	主绕组		副绕组			布线形式
	功率/W	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	效率(%)	功率因数	外径	内径	长度	气隙			每极匝数	线径/mm	每极匝数	线径/mm	电容器/(μF/V)	
DO_2-4514	6	220	0.20	1400	17	0.80	71	38	45	0.20	4	12/18	700	0.18	675	0.16	1/630	(4—12—2/1—A/B)[①]
DO_2-4524	10		0.26		24	0.80						12/18	600	0.20	620	0.16	1/630	
DO_2-5014	16		0.28		33	0.80	80	44	45	0.20		12/18	560	0.21	455	0.21	2/630	
DO_2-5024	25		0.36		38	0.82						12/18	436	0.25	435	0.21	2/630	
DO_2-5614	40		0.49		45	0.82	90	54	50	0.25		24/18	356	0.28	508	0.23	2/630	(4—24—3/3—A)
DO_2-5624	60		0.64		50	0.85						24/18	348	0.31	339	0.28	4/630	
DO_2-6314	90		0.94		51	0.85	96	58	45 54	0.25		24/18	302	0.35	374	0.31	4/630	
DO_2-6324	120		1.17		55	0.85						24/30	259	0.40	365	0.31	4/630	
DO_2-7114	180		1.58		59	0.88	110	67	50 62	0.25		24/30	206	0.42	330	0.38	6/430	
DO_2-7124	250		2.04		62	0.90						24/30	165	0.47	268	0.42	8/430	
DO_2-4512	10	220	0.20	2800	28	0.80	71	38	45	0.20	2	12/18	868	0.18	971	0.16	1/630	(2—12—3/3—B)
DO_2-4522	16		0.26		35	0.80						12/18	750	0.20	796	0.19	1/630	
DO_2-5012	25		0.33		40	0.85	80	44	45	0.20		12/18	519	0.25	819	0.23	2/630	
DO_2-5022	40		0.42		42	0.90						12/18	489	0.25	698	0.25	2/630	
DO_2-5612	60		0.57		53	0.90	90	48	50	0.25		24/18	454	0.28	527	0.31	4/630	(2—24—6/6—B)
DO_2-5622	90		0.81		56	0.90						24/18	363	0.33	467	0.31	4/630	
DO_2-6312	120		0.91		63	0.95	96	50	45 54	0.25		24/18	415	0.40	593	0.31	4/630	
DO_2-6322	180		1.29		67	0.95						24/18	320	0.45	427	0.33	6/630	
DO_2-7112	250		1.73		69	0.95	110	58	50	0.25		24/18	271	0.50	382	0.45	8/630	

① 4—12—2/1—A/B 含义：4—极数；12—定子槽数；2/1—主/副绕组每极线圈数；A/B—主/副绕组。以下布线形式说明类同。

表 B-2 DO 系列单相电容运转电动机技术数据表

电动机型号	额定参数						定子铁心/mm				绕组极数	定/转槽数 Q_1/Q_2	主绕组		副绕组			布线形式
	功率/W	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	效率(%)	功率因数	外径	内径	长度	气隙			每极匝数	线径/mm	每极匝数	线径/mm	电容器/(μF)	
DO-4514	8	220	0.20	1400	23	0.80	71	38	45	0.20	4	12/15	575	0.20	650	0.16	1	(4—12—2/1—A/B)
DO-4524	15		0.28		30	0.80						12/15	523	0.21	670	0.17	1	
DO-5014	25		0.35		35	0.82	80	42	34	0.15		12/15	504	0.25	523	0.18	2	
DO-5024	40		0.52		40	0.82			44			12/15	373	0.27	598	0.20	2	
DO-5614	60		0.72		45	0.84	90	52	38	0.20		24/18	350	0.29	460	0.27	4	(4—24—3/3—A)
DO-5624	90		0.97		49	0.84			48			24/18	260	0.31	420	0.29	4	
DO-6314	120		1.20		53	0.86	102	60	44	0.25		24/22	265	0.38	460	0.29	4	
DO-6324	180		1.67		57	0.86			55			24/22	213	0.44	355	0.33	6	
DO-4512	15	220	0.23	2800	36	0.82	71	38	45	0.20	2	12/15	823	0.23	1258	0.23	1	(2—12—3/3—B)
DO-4522	25		0.32		42	0.84						12/15	698	0.25	1369	0.25	1	
DO-5012	40		0.45		48	0.84	80	43	35	0.25		12/15	700	0.25	920	0.25	2	
DO-5022	60		0.55		53	0.86			46			12/15	550	0.29	778	0.29	2	
DO-5612	90		0.82		58	0.86	90	48	38	0.25		24/18	500	0.33	650	0.33	4	(2—24—6/6—B)
DO-5622	120		1.00		62	0.88			48			24/18	400	0.41	640	0.41	4	
DO-6312	180		1.42		65	0.88	102	54	44	0.25		24/18	341	0.44	510	0.44	6	

表 B-3　CO_2 系列单相电容起动电动机技术数据表

电动机型号	额定参数						定子铁心/mm				绕组极数	定/转槽数 Q_1/Q_2	主绕组		副绕组			布线形式
	功率/W	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	效率(%)	功率因数	外径	内径	长度	气隙			每极匝数	线径/mm	每极匝数	线径/mm	电容器/μF	
CO_2-7114	120	220	1.88	1400	50	0.58	110	67	50	0.25	4	24/30	224	0.53	145	0.35	75	(4—24—3/2—A)
CO_2-7124	180		2.49		53	0.62			62				183	0.60	124	0.38		
CO_2-8014	250		3.11		58	0.63	128	77	58	0.25		24/30	158	0.71	133	0.47	100	(4—24—3/2—A)
CO_2-8024	370		4.24		62	0.64			75				124	0.85	134	0.50		
CO_2-9014	550		5.57		65	0.69	145	87	70	0.25		36/42	127	0.95	108	0.60	150	(4—36—4/3—B/A)
CO_2-9024	750		6.77		69	0.73			90				96	1.06	120	0.63		
CO_2-7112	180	220	1.89	2800	60	0.72	110	58	50	0.25	2	24/18	297	0.56	247	0.38	75	(2—24—6/4—B)
CO_2-7122	250		2.40		64	0.74			62				235	0.63	204	0.47		
CO_2-8012	370		3.36		65	0.77	128	67	58	0.25		24/18	206	0.71	206	0.53	100	(2—24—6/4—B)
CO_2-8022	550		4.65		68	0.79			75				159	0.85	154	0.56	150	
CO_2-9012	750		5.94		70	0.82	145	77	70	0.30		24/18	147	1.00	133	0.63	200	

注：起动电容器采用 CDJ 型电解电容器，工作电压为 250V。

表 B-4　CO 系列单相电容起动电动机技术数据表

电动机型号	额定参数						定子铁心/mm				绕组极数	定/转槽数 Q_1/Q_2	主绕组		副绕组			布线形式
	功率/W	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	效率(%)	功率因数	外径	内径	长度	气隙			每极匝数	线径/mm	每极匝数	线径/mm	电容器/μF/V	
CO-6324	120	220	1.95	1400	48	0.59	102	58	60	0.20	4	24/30	231	0.57	102	0.35	100/220	(4—24—3/3—A)
CO-6334	180		2.60		52	0.60			70			24/22	200	0.57	114	0.41		
CO-7104	180		2.44		56	0.60	120	71	48	0.20		24/22	209	0.64	128	0.41	100/220	(4—24—3/3—A)
CO-7114	250		3.05		60	0.62			62				167	0.72	149	0.47		
CO-7124	370		4.17		63	0.64	138	81.6	80	0.25		24/26	126	0.83	131	0.49	200/220	
CO-8014	550		5.65		—	—			70				120	0.96	113	0.55	150/220	(4—36—4/3—B/A)
CO-8024	750		7.05		—	—			90				93	1.08	92	0.59		
CO-6322	180	220	1.95	2800	60	0.70	102	52	52	0.20	2	24/18	301	0.57	273	0.41	75/220	(2—24—5/5—B)
CO-6332	250		2.25		63	0.72			68				232	0.62	200	0.44	100/220	
CO-7102	250		2.50		63	0.72	120	62	48	0.25		24/18	261	0.62	191	0.47	100/220	
CO-7112	370		3.50		65	0.74			62				212	0.72	182	0.49	100/220	
CO-7122	550		4.84		68	0.76			80				153	0.86	185	0.53	150/220	
CO-8012	750		6.25		—	—	138	71.6	70	0.30		24/30	149	1.00	185	0.55	150/220	

表 B-5　BO_2 系列单相分相起动电动机技术数据表

电动机型号	额定参数 功率/W	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	效率(%)	功率因数	定子铁心/mm 外径	内径	长度	气隙	绕组极数	定/转槽数 Q_1/Q_2	主绕组 每极匝数	线径/mm	副绕组 每极匝数	线径/mm	堵转转矩倍数	最大转矩倍数	布线形式
BO_2-6314	60	220	1.23	1400	39	0.57	96	58	45	0.25	4	24/30	315	0.42	127	0.31	1.7	1.8	(4—24—3/3—A)
BO_2-6324	90		1.64		43	0.58			54				270	0.45	117	0.35	1.5	1.8	
BO_2-7114	120		1.88		50	0.58	110	67	50				224	0.53	124	0.33	1.5	1.8	
BO_2-7124	180		2.49		53	0.62			62				183	0.60	102	0.35	1.4	1.8	
BO_2-8014	250		3.11		58	0.63	128	77	58				158	0.71	104	0.40	1.2	1.8	
BO_2-8024	370		4.24		62	0.64			75				124	0.85	89	0.47	1.2	1.8	
BO_2-6312	90	220	1.02	2800	56	0.67	96	50	45	0.25	2	24/18	436	0.45	192	0.33	1.5	1.8	(2—24—6/6—B)
BO_2-6322	120		1.36		58	0.69			54				357	0.50	182	0.35	1.4	1.8	
BO_2-7112	180		1.89		60	0.72	110	58	50				297	0.56	167	0.38	1.3	1.8	
BO_2-7122	250		2.40		64	0.74			62				235	0.63	156	0.40	1.1	1.8	
BO_2-8012	370		3.36		65	0.77	128	67	58				206	0.71	136	0.45	1.1	1.8	

表 B-6　BO 系列单相分相起动电动机技术数据表

电动机型号	额定参数 功率/W	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	效率(%)	功率因数	起动电流/A	起动转矩倍数	最大转矩倍数	定子铁心/mm 外径	内径	长度	气隙	绕组极数	定/转槽数 Q_1/Q_2	主绕组 每极匝数	线径/mm	副绕组 每极匝数	线径/mm	布线形式
BO-5614	40	220	1.05	1400	32	0.54	7.0	1.9	1.8	90	52	40	0.20	4	24/22	374	0.38	150	0.27	(4—24—3/3—A)
BO-5624	60		1.19		38	0.60	8.2	1.8	1.8			48				321	0.41	127	0.29	
BO-6314	90		1.60		44	0.58	10	1.8	1.8	102	58	48				288	0.53	128	0.31	
BO-6324	120		1.85		50	0.59	11.6	1.6	1.8			56				248	0.57	109(−52)	0.33	
BO-6334	180		2.60		52	0.60	17	—	1.8	102	60	68				180	0.62	86	0.41	
BO-7104	180		2.44		56	0.60	16	1.6	1.8			48				209	0.64	89	0.38	
BO-7114	250		3.05		60	0.62	21	1.6	1.8	120	71	62				165	0.72	95	0.41	
BO-7124	370		4.17		63	0.64	28	1.4	1.8			80				126	0.83	71	0.44	
BO-5612	60		1.01		42	0.64	8.0	2.0	1.8	90	48	40				560	0.41	229	0.31	(2—24—6/6—B)
BO-5622	90		1.19		52	0.66	11	1.9	1.8			48				473	0.47	179	0.35	

（续）

电动机型号	额定参数 功率/W	电压/V	电流/A	转速/(r/min)	效率(%)	功率因数	起动电流/A	起动转矩倍数	最大转矩倍数	定子铁心/mm 外径	内径	长度	气隙	绕组极数	定/转槽数 Q_1/Q_2	主绕组 每极匝数	线径/mm	副绕组 每极匝数	线径/mm	布线形式
BO-6312	120	220	1.43	2800	56	0.68	12	1.8	1.8	102	52	48	0.25	2	24/18	406	0.53	203	0.35	(2—24—6/6—B)
BO-6322	180		1.95		60	0.70	15	1.5	1.8			56				352	0.59	174	0.38	
BO-6322	250		2.50		63	0.72	22	—	1.8	102	54	62				247	0.62	127(-80)	0.44	
BO-7102	250		2.50		63	0.72	19	1.2	1.8	120	62	48				260	0.62	159	0.38	
BO-7112	370		3.50		65	0.74	24	1.2	1.8			62				212	0.72	124	0.44	

表 B-7　JZ 系列单相分相起动电动机技术数据表

电动机型号	额定参数 功率/W	电压/V	电流/A	定子铁心/mm 外径	内径	长度	气隙	绕组极数	定子槽数 Q_1	转子槽数 Q_2	主绕组 每极匝数	线径/mm	副绕组 每极匝数	线径/mm	布线形式
JZ-5614	40	220	1.0	90	52	40	0.20	4	24	22	374	0.38	150	0.27	(4—24—3/3—A)
JZ-5624	60		1.5			48					321	0.41	127	0.29	
JZ-6314	90		2.0	102	58	48					285	0.53	128	0.31	(4—24—3/3—A)①
JZ-6324	120		2.0			56					238	0.57	119	0.33	
JZ-7114	180		2.5	102	52	48					209	0.64	89	0.38	
JZ-7124	250		3.5	120	71	62					165	0.72	95	0.41	(4—24—3/3—A)
JZ-7134	370		4.5			80					126	0.83	71	0.44	
JZ-5612	60	220	1.0	90	48	40	0.25	2	24	18	562	0.41	229	0.31	(2—24—6/6—B)
JZ-5622	90		1.2			48					465	0.47	179	0.35	
JZ-6312	120		2.0	102	52	48					407	0.53	213	0.35	
JZ-6322	180		2.5			56					352	0.59	174	0.38	
JZ-7112	250		3.0	120	62	48					260	0.62	159	0.38	
JZ-7122	370		4.0			62					212	0.72	124	0.44	

① 该型号电动机绕组布线形式也有用 4—24—3/3—A。

表 B-8　台扇、壁扇、顶扇、落地扇等用单相电容运转电动机技术数据表

电扇规格/mm	电动机参数			定子铁心/mm				定、转槽数 Q_1/Q_2	线圈节距	主绕组		副绕组		调速绕组	调速方法	绕组布接线形式
	功率/W	电压/V	极数	外径	内径	叠厚	气隙			线径/mm	线圈匝数×线圈数	线径/mm	线圈匝数×线圈数	线圈数×线圈匝数		
				78	44.5			16/22	1—4	0.15	1050×4	0.15	1050×4	4×550	抽头	L—2 型 16 槽 4—4/2—4/2 三速
250	31	220	4	88	44.7	20	0.35	8/17	1—3	0.17	935×4	0.15	1020×4	—	电抗	单速 8 槽双层绕组
				88	44.7			8/17	1—3	0.17	850×4	0.15	1020×2	2(150+250)	抽头	L—2 型 8 槽 4—2/3—4/3 三速
	44			73	40.3	26.5	0.35	16/22	1—4	0.15	840×4	0.15	900×4	—	电抗	单速 16 槽单层绕组
	44			78	44.5	22	0.35	16/22	1—4	0.17	800×4	0.15	1000×4	—	电抗	单速 16 槽单层绕组
	—			82	44.6	24	0.35	16/22	1—4	0.17	800×4	0.15	(1000+500)×2	2×500	抽头	L—2 型 16 槽 4—2(2/2)—2/2 三速
300	—	220	4	88	44.7	26	0.35	8/17	1—3	0.17	634×4	0.19	620×4	—	电抗	单速 8 槽双层绕组
	—			88	44.5	24	0.35	16/22	1—4	0.17	800×4	0.15	500×4	4×500	抽头	L—2 型 16 槽 4—4/2—4/2 三速
	42			80	44.5	26	0.30	16/22	1—4	0.19	880×4	0.15	960×4	—	电抗	单速 16 槽单层绕组
	45			88	49	22	0.35	16/22	1—4	0.17	800×4	0.15	1000×4	—	电抗	单速 16 槽单层绕组
	50			78	44.5	25	0.35	16/22	1—4	0.17	750×4	0.15	600×4	4×500	抽头	L—2 型 16 槽 4—4/2—4/2 三速
	52			88	44.7	26	0.35	8/17	1—3	0.21	590×4	0.19	780×4	—	电抗	单速 8 槽双层绕组
	—			88.5	49	34	0.35	16/22	1—4	0.19	685×4	0.15	550×4	4(150+270)	抽头	L—2 型 16 槽 4—4/3—8/3 三速
350	—	220	4	88.5	49	25	0.35	16/22	1—4	0.21	720×4	0.17	720×2	2(250+470)	抽头	L—2 型 16 槽 4—2—4/2 三速
	54			88.5	49	25	0.35	16/22	1—4	0.19	(650+110)×4	0.17	480×4	2×540	抽头	T—1W 型 16 槽 2(2/2)—4—2/2 双速
	60			88.5	49	35	0.35	16/22	1—4	0.23	570×4	0.19	720×4	—	电抗	单速 16 槽单层绕组

（续）

电扇规格/mm	电动机参数			定子铁心/mm				定、转槽数 Q_1/Q_2	线圈节距	主绕组		副绕组		调速绕组	调速方法	绕组布接线形式
	功率/W	电压/V	极数	外径	内径	叠厚	气隙			线径/mm	线圈匝数×线圈数	线径/mm	线圈匝数×线圈数	线圈数×线圈匝数		
	—			88	44.7	26	0.35	8/17	1—3	0.23	580×4	0.19	930×2	2×730 —	抽头	L—2 型 8 槽 4/2—2/2—2/2 双速
	61			88	44.7	32	0.35	8/17	1—3	0.23	530×4	0.17	890×4	2×350	电抗	单速 8 槽双层绕组
400	61	220	4	88.4	49	32	0.35	16/22	1—4	0.21	550×4	0.19	850×2	2×560	抽头	L—2 型 16 槽 4—2—2 双速
	—			88	44.7	32	0.35	8/17	1—3	0.23	520×2	0.17	1000×2	（0.19）	抽头	L—2 型 8 槽 4—2/2—2/2 双速
	—			88.4	49	32	0.32	16/22	1—4	0.21	550×4	0.19	350×4	4×350	抽头	L—2 型 16 槽 4—4/2—4/2 三速
				88	49	35	0.35	16/22	1—4	0.23	570×4	0.19	720×4	—	电抗	单速 16 槽单层绕组
				88	44.7	26	0.35	8/17	1—3	0.23	580×4	0.21	730×4	—	电抗	单速 8 槽双层绕组
				88.5	46.7	32	—	16/22	1—4	0.17	600×4	0.17	650×2	2(420+200)	抽头	L—2 型 16 槽 4—2—4/2 三速
				88.5	49	34	0.35	16/22	1—4	0.19	685×4	0.16	976×4	—	电抗	单速 16 槽单层绕组
400		220	4	88.5	46.7	35	—	16/22	1—4	0.19	570×4	0.17	850×2	2(700+160)	抽头	L—2 型 16 槽 4—2—4/2 三速
				88.5	49	35	—	16/22	1—4	0.23	570×4	0.19	1000×2	2×560	抽头	L—2 型 16 槽 4—2—2 双速
				88.5	49	32	—	16/22	1—4	0.23	550×4	0.19	620×4	—	电抗	单速 16 槽单层绕组
				88.5	49	35	—	16/22	1—4	0.21	730×4	0.17	930×4	—	电抗	单速 16 槽单层绕组
				96	50	35	—	8/17	1—3	0.23	775×4	0.20	(320+480)2	2(480+320)	抽头	L—2 型 8 槽 4—4/4—4/4 三速

注：1. 电扇的重绕修理要按原始数据进行，无绕组数据者可根据实测铁心尺寸选取相应参数重绕线圈。
2. 除个别规格注明外，抽头调速绕组的导线与副绕组线径相同。

表 B-9　单相罩极式台扇电动机技术数据表

电扇规格/mm	额定功率/W	额定电压/V	极数	定子铁心/mm				转子槽数	定子绕组				调速方法
				外径	内径	叠厚	气隙		线径/mm	每极匝数	线圈数	绕组形式	
200	32	220	2	59	28	32	0.35	15	0.19	800+500	2	集中式	定子绕组抽头调速
200	—		2	60	30	25		15	0.17	1270	2	集中式	外串电抗器调速
300	52		4	88	44.7	32		17	0.27	510	4	集中式	外串电抗器调速
400	80		4	108/95.7	51	32		22	0.47	450	4	集中式	外串电抗器调速

表 B-10　外转子式(220V)吊扇电容运转电动机技术数据表

序号	吊扇规格/mm	电动机极数	定子铁心/mm				槽数 Q_1/Q_2	主绕组			副绕组			线圈节距	电容器		绕组形式
			外径	内径	叠厚	气隙		线径/mm	线圈匝数	主线圈数	线径/mm	线圈匝数	副线圈数		容量/μF	耐压/V	
1	900	14	118	20	23	0.25	28/45	0.23	764	7	0.19	1012	7	1—3	1.0	400	单层链式
2	900	14	118	23	23	0.25	28/45	0.23	382	14	0.19	506	14	1—3	1.0	—	双层链式
3	900	14	122.3	44	26	—	28/47	0.29	360	14	0.29	360	14	1—3	2.5	400	双层链式
4	1050	14	122.3	44	26	—	28/47	0.30	300	14	0.30	330	14	1—3	3.0	400	双层链式
5	1050	14	118	20	23	—	28/47	0.21	650	7	0.19	870	7	1—3	3.0	400	单层链式
6	1050	14	—	—	—	—	28/—	0.22	860	14	0.20	350	7	1—3	—	—	深槽式
7	1200	16	132	22	24		32/57	0.28	530	8	0.23	780	8	1—3	2.0	400	单层链式
8	1200	16	138.7	25	22	—	32/51	0.23	550	8	0.19	720	8	1—3	2	400	单层链式
9	1200	18	134.8	70.5	25	0.25	36/48	0.27	280	18	0.25	328	18	1—3	2	400	双层链式
10	1400	16	139	20	25	—	32/—	0.29	490	8	0.25	630	8	1—3	2.5	400	单层链式
11	1400	18	138.8	28	28	0.25	36/48	0.29	236	18	0.25	323	18	1—3	4	—	双层链式
12	1400	18	138.8	60	28	0.25	36/48	0.31	200	18	0.31	225	18	1—3	4	400	双层链式
13	1400	18	136.6	63.5	32	0.30	36/48	0.31	440	18	0.25	620	18	1—3	2.4	400	双层链式

表 B-11 单相罩极式电鼓风 2 极电动机绕组技术数据表

序号	槽数	额定参数			定子铁心/mm			主绕组				罩极绕组				布线形式
		功率/W	电压/V	电流/A	外径	内径	长度	线径/mm	线圈匝数	线圈节距	每极圈数	线径/mm	每圈匝数	每极圈数	线圈节距	
1	16	220		1.5	130	68	62	0.44	140	1—8 2—7 3—6	3	1.82	2	1	16—5 13—8	同心绕组 3/1 布线
2	16	92		0.65	100	48	38	0.31	100	1—5	4	0.93	3	2	16—5 14—9 1—6 13—8	单叠绕组 4/2 布线
3	18	184		2.4	120	63	55	0.66	93	1—9 2—8 3—7	3	0.72	10	2	18—5 15—10 1—6 14—9	同心绕组 3/2 布线
4	20	184		2.4	120	63	55	0.66	76	1—6	5	1.21	3	2	20—6 17—11 1—7 16—10	单叠绕组 5/2 布线
5	24	368		3.5	135	76	55	0.62	—	1—8	5	1.85	2	2	6—14 3—19 7—15 2—18	单叠绕组 5/2 布线
6	24	200	220	1.2	100	60	50	0.51	78	1—8	5	1.20	5	1	—	—
7	24	249		3.0	86	55	24	0.67	—	1—8	5	1.48	2	2	24—6 19—13 1—7 18—12	单叠绕组 5/2 布线
8	24	270		3.0	105	75	54	0.69	80	1—8	5	1.88	3	2	6—13 2—19 7—14 1—18	单叠绕组 5/2 布线
9	24	368		3.0	140	75	50	0.62	—	1—9	5	1.86	2	2	3—13 2—16 4—14 1—15	单双层绕组 5/2 布线
10	24	368		3.5	140	76	55	0.62	—	1—9	5	1.82	2	2	4—15 2—17 5—14 3—16	单双层绕组 5/2 布线
11	24	200		2.5	120	66	45	0.62	70	1—8	6	1.35	3	2	24—8 21—13 1—9 20—12	单双层绕组 6/2 布线
12	24	368		3.5	135	76	55	0.62	—	1—8	6	1.75	2	2	6—13 1—18 7—14 2—19	单双层绕组 6/2 布线

附录C　电动机重绕修理常用材料

表 C-1　高强度（QZ、QQ、QY、QXY、QQS）漆包圆铜线数据表

铜线直径 /mm	绝缘外径 /mm	铜线截面积 /mm²	20℃导线电阻 /(Ω/km)	重量 /(kg/km)	铜线直径 /mm	绝缘外径 /mm	铜线截面积 /mm²	20℃导线电阻 /(Ω/km)	重量 /(kg/km)
0.15	0.190	0.0177	993	0.167	0.77	0.86	0.466	37.6	4.24
0.16	0.200	0.0201	872	0.189	0.80	0.89	0.503	34.8	4.58
0.17	0.208	0.0227	773	0.210	0.83	0.92	0.541	32.4	4.92
0.18	0.220	0.0255	689	0.237	0.86	0.95	0.581	30.1	5.27
0.19	0.230	0.0284	618	0.264	0.90	0.99	0.636	27.5	5.78
0.20	0.240	0.0314	558	0.292	0.93	1.02	0.679	25.8	6.16
0.21	0.250	0.0346	506	0.321	0.96	1.05	0.724	24.2	6.56
0.23	0.280	0.0415	422	0.386	1.00	1.11	0.785	22.4	7.14
0.25	0.300	0.0491	357	0.454	1.04	1.15	0.850	20.6	7.72
0.27	0.320	0.0573	306	0.529	1.08	1.19	0.916	19.1	8.32
0.29	0.340	0.0661	265	0.608	1.12	1.23	0.985	17.8	8.94
0.31	0.360	0.0755	232	0.693	1.16	1.27	1.057	16.6	9.59
0.33	0.380	0.0855	205	0.784	1.20	1.31	1.131	15.5	10.4
0.35	0.410	0.0962	182	0.884	1.25	1.36	1.227	14.3	11.2
0.38	0.440	0.1134	155	1.04	1.30	1.41	1.327	13.2	12.1
0.41	0.470	0.1320	133	1.21	1.35	1.46	1.431	12.3	13.0
0.44	0.500	0.1521	115	1.39	1.40	1.51	1.539	11.3	14.0
0.47	0.530	0.1735	101	1.58	1.45	1.56	1.651	10.6	15.0
0.49	0.550	0.1886	93.0	1.72	1.50	1.61	1.767	9.93	16.0
0.51	0.580	0.2043	85.9	1.84	1.56	1.67	1.911	9.17	17.3
0.53	0.600	0.221	79.5	2.02	1.62	1.73	2.06	8.50	18.6
0.55	0.620	0.238	73.7	2.17	1.68	1.79	2.22	7.91	20.0
0.57	0.640	0.255	68.7	2.34	1.74	1.85	2.38	7.37	21.4
0.59	0.660	0.273	64.1	2.50	1.81	1.93	2.57	6.81	23.3
0.62	0.690	0.302	58.0	2.76	1.86	2.00	2.78	6.31	25.2
0.64	0.72	0.322	54.5	2.94					
0.67	0.75	0.353	49.7	3.21					
0.69	0.77	0.374	46.9	3.41					
0.72	0.80	0.401	43.0	3.70					
0.74	0.83	0.430	40.7	3.92					

表 C-2　电动机绕组捆扎常用无纬带性能

名称	纤维量（%）	绝缘等级	规格 厚×宽 /mm	抗拉强度/MPa					无纬带类型		聚酯无纬带		环氧无纬带		聚酯亚胺无纬带	
				常温	130℃	180℃	0℃	室温（>30℃）	固化温度与时间		温度/℃	时间/h	温度/℃	时间/h	温度/℃	时间/h
聚酯B型	73±3	B	0.17×25	780	470~510	—	—	3个月	加热固化工艺程序	1	80~90	2	80~90	2	80	2
环氧B型	75±2	F	0.17×25	880	530~570	—	1个月	—		2	110~120	2	110~120	2	100~120	4
环氧H型	75±2	F	0.17×25	780	—	470~510	1个月	—		3	130~140	17	130~155	17	160	3
聚胺—酰亚胺型	68	H	0.17×25	600	—	490	1个月	—		4	—	—	—	—	180	2
聚芳烷基醚酚型	73	H	0.17×25	—	—	490	半年	—		5	—	—	—	—	200	2

表 C-3　小型电动机定子绕组常用绝缘漆及其主要性能

类别	绝缘等级	名称	型号	性能特点	主要用途	稀释剂	烘燥条件	
							温度/℃	时间/h
绝缘浸渍漆	A	耐油清漆	1012	耐油、耐湿、干燥、时间短，漆膜光滑	电动机绕组浸渍漆	200号溶剂	105	2
		甲酚清漆	1014	有良好的介电和耐油性，易于干燥，但对油性漆包线有侵蚀作用	电动机及电器线圈浸渍	甲苯、松节油	105	0.5
	E、B	醇酸清漆	1030	有较好耐油及耐弧性能	适用于浸渍，也可用作覆盖	甲苯、二甲苯	105	2
		三聚氰胺醇酸漆	1032、A30—1	有较好的附着力和干透性，且弹性好又耐热、耐油、耐电弧	可用于湿热带电动机绕组浸渍或零件表面覆盖	甲苯、200号溶剂	105	2
		环氧酯漆	1033、H30—2	有较好的耐油、耐热、耐湿性，形成的漆膜光滑、有弹性、且机械强度高	用途同1032	二甲苯、丁醇	120	2
		环氧醇酸漆	8340、H30—6	耐热性、耐潮性较好，机械强度高且粘结力强	可浸渍热带电动机绕组	甲苯、二甲苯	105	<1.5

（续）

类别	绝缘等级	名称	型号	性能特点	主要用途	稀释剂	烘燥条件	
							温度/℃	时间/h
绝缘浸渍漆	F	聚酯浸渍漆	155、Z30-2	耐热性及电气性能好，粘结力强	电动机绕组及电器线圈浸渍	丁醇、二甲苯	130	1~3
	H	硅有机清漆	1050	耐热性及固化性能好，且有耐油、防霉性能	适用于高温场合使用的电动机绕组浸渍	甲苯	200	0.5
			1052	性能基本同1050，但耐热性稍低，优点是可在常温下干燥	常用于电动机、电器线圈浸渍以及零件表面覆盖	甲苯	20	0.25
			1053、W30-1	耐热性能和电气性能好，但烘干温度较高	电动机绕组、电器线圈浸渍以及零件表面覆盖	二甲苯	200	1.5~2
		低温干燥有机硅漆	9111	耐热较1053稍差，但烘干温度较低，干燥快	电动机绕组浸渍及绝缘零件涂覆	甲苯	150	0.25~1
覆盖漆	B、E	灰磁漆	1320、1321	漆膜坚硬，机械强度高且耐油、耐弧性好，但耐潮性及介电性能较差	一般只用于电器线圈及电动机绕组表面防油覆盖用漆	二甲苯	105	3
	E	气干红磁漆	1323	性能基本同1320，但可在低温下干燥	适用于不能在高温下干燥的线圈或零部件的覆盖	二甲苯	20	24
	F、H	硅有机磁漆		耐油、耐热、耐潮性能都较好、介电强度也较高，且能耐表面冲击	适用于高温使用的线圈覆盖	二甲苯	200	3
叠片用漆	—	硅钢片漆	1610 1611	可在(450~550)℃高温条件快速干燥	用于电动机、电器铁心叠片间绝缘	煤油	210	0.2

表 C-4　小型电动机转子绕组常用绝缘漆及其主要性能

类别	绝缘等级	名称	型号	性能特点	主要用途	稳定贮存/月	粘度/s	胶化条件	
								温度/℃	时间/min
无溶剂漆	B	环氧无溶剂(滴浸)漆	H30-5	固化快速，介电强度高，粘度较低，流动性较好	适用于滴浸低压小型电动机绕组	72h	85～100(20℃)	130	15～20
			111	粘度低，固化快，介电强度高，但储存稳定性较差	适用于小型低压电动机及电器线圈滴浸	30h	30～60(20℃)	120	8～12
			672-1	挥发物少，固化快、体积电阻高，但储存期短	适用于小型电动机、线圈滴浸	30h	150(25℃)	130	3～4
			9102	挥发物少，固化快，但储存稳定性差	适用于小型电动机绕组及线圈滴浸	24h	110～240(20℃)	130	14～17
无溶剂漆	B	环氧无溶剂（沉浸）漆	110	粘度低，储存稳定性好，介电强度高	适用于小型电动机及线圈沉浸	4	30～70(20℃)	—	—
			594	粘度低，体积电阻高，储存稳定性好，在高温下固化快速	适用于沉浸中型高压电动机、电器线圈	12	19～25(60℃)	200	5～10
			9101	粘度低，体积电阻高，储存稳定性好	适用于沉浸中型高压电动机绕组及电器线圈	6	40～65(20℃)	140	30～60
	B	环氧聚酯无溶剂漆	1034	挥发物较少，固化快，但耐霉性能和储存稳定性差	适用于小型电动机，线圈滴浸	24h	120～240(20℃)	120	6～12
	B	环氧聚酯酚醛无溶剂漆	5152-2	耐潮湿及介电性能好，粘度较低，不需活性溶剂，固化快速且储存稳定性较好，机械强度也较高	适用于沉浸小型低压电动机绕组	3	15～30(25℃)	130	12～15
有溶剂漆	B	三聚氰胺醇酸漆	1032	有较好的耐油性、耐干性，漆膜光滑，渗透力强且粘结力好，也很耐潮，但固体含量少，只有47%左右，故挥发物较多，必须多次浸渍	可用于转速较低的各种电动机转子绕组的浸渍	—	30～60	105	120
无溶剂漆	F	不饱和聚酯无溶剂漆	319-2	粘度较低，电气性能较好，储存稳定性也较好	可用于F级绝缘的电动机及电器线圈沉浸	6	30～60(25℃)	155	180
	F	环氧聚酯无溶剂漆	EIU	粘度低，挥发物少，耐压强度高，储存稳定性好	适用于F级小型电动机绕组及电器线圈沉浸	3	20～50(25℃)	—	—

注：粘度采用4号粘度计杯。